



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH - VODA

AIR SOURCE HEAT PUMP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Krejsa

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. Petr Krejsa
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Technika prostředí
Vedoucí práce:	Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Tepelné čerpadlo vzduch - voda

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současnosti jsou bytové domy nejčastěji vytápěny teplem, které vzniklo spálením některého z neobnovitelných zdrojů energie a je tedy spojeno s produkcí skleníkových plynů. Snahou současné společnosti je snižovat produkci skleníkových plynů, pomocí zvýšeného využití obnovitelných zdrojů energie, mezi které patří i tepelná čerpadla se sezónním topným faktorem vyšším jak 3.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je navrhnout modulové tepelné čerpadlo vzduch - voda, sloužící k vytápění a přípravě teplé vody v bytových domech.

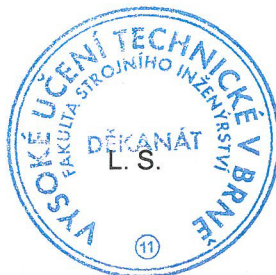
Seznam literatury:

ŽERAVÍK, Antonín. Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. ISBN 80-239-0275-X.

ČSN EN 378. Chladicí zařízení a tepelná čerpadla. Praha: ÚNMZ, 2012.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 11. 11. 2016



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá popisem technologie tepelných čerpadel (TČ) a jejich využitím pro bytové domy. Teoretická část obsahuje úvod, představení technologie tepelných čerpadel, zejména kompresorového tepelného čerpadla (KTČ). Dále je v této části pojednáno o tepelných čerpadlech pro bytové domy. Hlavní náplní práce je návrh kompaktního tepelného čerpadla typu vzduch-voda pro společnost AISECO spol. s.r.o. V této části jsou navrženy jednotlivé komponenty chladivového oběhu společně s návrhem tohoto oběhu a principem činnosti.

Klíčová slova: návrh tepelného čerpadla, tepelné čerpadlo, kompaktní tepelné čerpadlo, zdroj nízkopotenciálního tepla, vytápění, bytový dům, konstrukce

ABSTRACT

The master's thesis deals with the description of heat pump technology (HP) and its use for apartment buildings. The theoretical part contains an introduction, performance of heat pump technology, in particular a compressor heat pump (CHP). In this section is also mentioned about heat pumps for an apartment buildings. Main focus of this thesis is a design of a compact air-water heat pump for the company AISECO spol. s.r.o. This section is focused a design of an individual components of cooling circulation together with proposal of the circulation and principle of operation.

Key words: heat pump design, heat pump, compact heat pump, source of low-potential heat, heating, apartment building, construction

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KREJSA, P. *Tepelné čerpadlo vzduch - voda*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 78 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně na základě svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří vedoucímu mé diplomové práce, panu Ing. Jiřímu Hejčíkovi, Ph.D. za mnoho stráveného času na odborných konzultacích, přátelský přístup, mnoho rad a trpělivosti.

Dále bych chtěl poděkovat vedení společnosti Aiseco spol. s.r.o. za ochotu, obětavý přístup a poskytnutí podkladů pro tvorbu této práce.

Největší poděkování však patří mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala finančně a mentálně.

Obsah

1. Úvod	7
2. Technologie tepelných čerpadel	9
2.1. Historie TČ	9
2.2. Princip TČ	10
2.3. COP - Topný faktor	11
2.4. Kompresorová tepelná čerpadla (KTČ)	12
2.5. Absorpční TČ	14
2.6. Hybridní TČ	15
2.7. Zdroje NPT tepla a zapojení TČ	16
2.7.1. TČ odevzdávající teplo do vody	17
2.7.2. Vzduch	17
2.7.3. Voda	18
2.7.4. Země	19
2.7.5. TČ odevzdávající teplo do vzduchu	20
3. Kompresorové tepelné čerpadlo vzduch - voda	21
3.1. Režim vytápění	21
3.2. Reverzní režim	23
3.3. Chladiva v KTČ	24
3.3.1. Syntetická chladiva	25
3.3.2. Přírodní chladiva	25
3.4. Komponenty KTČ	29
3.4.1. Kompresor	29
3.4.2. Výparník	31
3.4.3. Kondenzátor	32
3.4.4. Expanzní ventil	32
3.5. Konstrukce KTČ	33
3.5.1. Kompaktní jednotky	33
3.5.2. Split jednotky	33
4. Tepelná čerpadla pro bytové domy	35
4.1. Výhody TČ jako zdroje tepla pro bytové domy	35
4.2. Aplikace TČ pro bytové domy	35

5.	NÁVRH TČ VZDUCH - VODA PRO BYTOVÉ DOMY.....	37
5.1.	Společnost AISECO spol. s.r.o.	37
5.2.	Základní požadavky pro návrh konceptu	38
5.3.	Volba chladiva.....	38
5.3.1.	R32	39
5.3.2.	R290	39
5.4.	Návrh komponent TČ	41
5.4.1.	Volba kompresoru.....	41
5.4.2.	Návrh výparníku	44
5.4.3.	Volba ventilátoru.....	45
5.4.4.	Volba kondenzátoru	47
5.4.5.	Volba expanzního ventilu	47
5.4.6.	Konfigurace navrženého chladicího oběhu	50
5.5.	Návrh kompletního chladivového oběhu	54
5.6.	Návrh ostatních komponent oběhu	55
5.6.1.	Potrubí.....	55
5.6.2.	Čtyřcestný ventil	56
5.6.3.	Filtrdehydrátor	58
5.6.4.	Presostat	58
5.6.5.	Odlučovač kapaliny.....	59
5.6.6.	Průhledítko	60
5.6.7.	Termostat	60
5.6.8.	Detektor chladiva	60
5.7.	Provozní režimy TČ pro bytové domy	61
5.7.1.	Režim vytápění	61
5.7.2.	Reverzní režim	61
5.8.	Kaskádové zapojení.....	63
5.9.	Výpočet náplně chladiva	64
5.10.	Stanovení COP.....	65
5.11.	Návrh kompaktnosti TČ	69
6.	Závěr	71
7.	Seznam použitých zdrojů	72
8.	Seznam zkratk a symbolů.....	74

1. ÚVOD

V dnešní době, kdy je třeba se zamyslet nad každou vydanou částkou financí jistě není na škodu vzít v úvahu i peníze vydávané každý měsíc za energie na vytápění, chlazení a na ohřev vody. Bytové domy, na které je tato práce zaměřena, v současné době řeší zajištění vytápění a teplé vody nejčastěji pomocí centrálního zásobování tepla (CZT), nebo pomocí lokálního zdroje tepla jímž může být např. plynový kotel, nebo tepelné čerpadlo (TČ).

V případě využití CZT, nebo plynového kotle je třeba si uvědomit, že k vytápění objektu slouží teplo, které vzniklo spálením některého z neobnovitelných zdrojů energie, což přirozeně přispívá k tvorbě skleníkových plynů. Dnešní společnost vyvíjí značnou snahu ke snižování této produkce, ve které je ukryto možné nebezpečí globálního oteplování.

TČ patří mezi možnosti efektivního vytápění, díky příznivým poměrům vyprodukované energie k energii dodané (většinou je to elektřina). Zároveň přispívají ke snižování skleníkového efektu, díky využívání obnovitelných zdrojů energie (teplo v okolním vzduchu, vodě, nebo zemi). TČ se hojně využívají především v západních zemích a to jak pro vytápění malých objektů (rodinné domy), tak pro objekty velké (bytové domy, školy, hotely, apod.)

Rešeršní část práce by měla pojednávat o technologii tepelných čerpadlech, jejich principu činnosti, dále pak popsat různé druhy TČ. Vynecháno by nemělo být hlubší rozebrání kompresorových tepelných čerpadel (KTČ), jejich komponent a popsání chladivového okruhu. V práci by měly být popsány také existující aplikace TČ pro bytové domy a popis jejich výhod.

Cílem práce je navrhnout modulové tepelné čerpadlo vzduch - voda, sloužící k vytápění a přípravě teplé vody v bytových domech. Tato jednotka je navrhována pro společnost AISECO spol. s.r.o. Základním požadavkem je topný výkon přibližně 15 kW za podmínek A2/W55 (teplota venkovního vzduchu je 2 °C a teplota topné vody je 55 °C). Tato navržená kompaktní jednotka by měla být jednoduše kaskádovitě propojitelná s dalšími stejnými jednotkami, pro dosažení vysokého topného výkonu a stupňovité regulace. Dále by měla pracovat na bázi inovativního chladiva s nízkým GWP (Global Warming Potential). Navrhnutá bude pro vnitřní provedení a zároveň by měla mít tichý provoz. Dle těchto požadavků budou voleny všechny komponenty, jako kompresor, výměníky a další části chladivového okruhu. Práce by měla obsahovat termodynamické výpočty celého okruhu. V závěru bude přiložen také schematický návrh této kompaktní jednotky.

2. TECHNOLOGIE TEPELNÝCH ČERPADEL

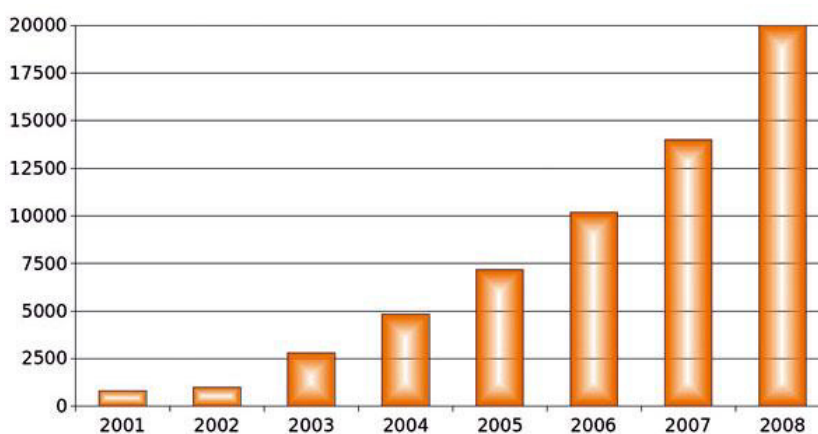
Tepelná čerpadla (TČ) jsou považována za moderní způsob vytápění budov a ohřev teplé užitkové vody (TUV). Při specifickém konstrukčním provedení jej lze použít i pro chlazení. TČ využívají ke své funkci obnovitelný zdroj, který je všude okolo nás zdarma. Jedná se o tzv. nízkopotenciální teplo (NPT), které je vázané ve vzduchu, vodě a v zemi. Tepelné čerpadlo je schopné přečerpat NPT o nízké teplotní hladině na teplotní hladinu vyšší a následně jej předat topnému médium (nejčastěji je jím topná voda). TČ tedy nevypouští do ovzduší téměř žádné emise, díky čemuž se snižuje produkce CO₂. Oproti zdrojům tepla, spalující neobnovitelné zdroje (pevná, kapalná a plynná paliva) je to velká výhoda.

Aby TČ dokázalo přečerpávat NPT je zapotřebí dodat do něho nějakou energii (většinou elektrickou). Účinnost TČ je definována jako topný faktor. Ten říká, kolikrát více je vyprodukovaného tepla (předaného topnému médium) oproti příkonu všech napájených komponent v oběhu TČ. [1]

2.1. Historie TČ

První zmínky o tepelném čerpadle jsou již z 19. století. Lord Kelvin předpověděl jejich příchod ve své druhé větě termodynamické. Z této věty vyplývá, že pokud nemůže teplo přejít ze studenějšího tělesa na teplejší samo, musíme mu nějak pomoci. Tento problém řeší právě tepelné čerpadlo. Prakticky tento problém začal řešit ve čtyřicátých letech 20. století Robert Weber, který při svých pokusech s ochlazováním zjistil, že kondenzátor mrazicího přístroje se značně zahřívá. [2]

Nástup tepelných čerpadel ve velkém množství je datován na rok 1980, v době ropné krize. Společnost během této krize ustupovala od spalování fosilních paliv a hledala jiná řešení. V roce 1981 bylo v Evropě v provozu 100 tisíc tepelných čerpadel, v Japonsku jich bylo 500 tisíc a v USA dokonce 3 miliony. Po tomto období následoval prudký pokles zájmu o TČ způsobená především neodborností firem a poruchovostí zařízení. Opětovný nárůst instalací se datuje na konec 20. století, díky zvětšujícímu se zájmu o životní prostředí a také kvůli globálním otázkám ohledně zásob neobnovitelných zdrojů energie. [1]



Obr. 2.1 Počet instalací TČ v ČR během let 2001 až 2008 [3]

2.2. Princip TČ

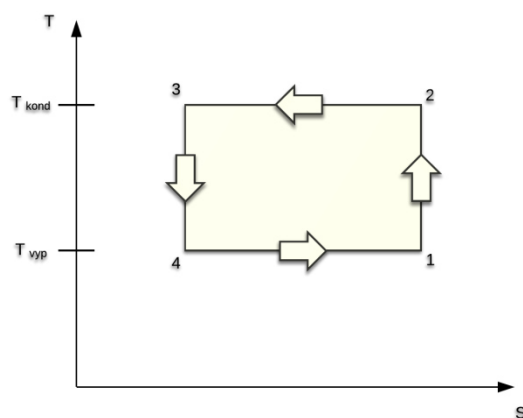
Jak říká druhý zákon termodynamiky, teplo v přírodě samovolně přechází z místa o vyšší teplotě do místa o teplotě nižší. Kvůli tomuto chování obsahuje naše okolí velké množství tepla vázaného při nízké teplotě, které znemožňuje jeho přímé využití. Tepelná čerpadla umožňují teplo okolnímu prostředí odnímat, a převádět ho na vyšší teplotní úroveň, která je vhodná pro další využití, např. vytápění.

Tepelné čerpadlo funguje na principu uzavřeného chladicího okruhu. Stejně jako chladnička odebírá teplo potravinám, kterým poté vytápí místnost, tak i tepelné čerpadlo odebírá nízkopotenciální teplo z okolí, kterým může být vzduch, podzemní voda nebo zemská kůra. Toto teplo můžeme následně přečerpát z relativně nízké teplotní hladiny na vyšší teplotní hladinu. Teplo se dostane od nízkého potenciálu k vysokému pomocí nějakého přídavného zařízení (kompresor, absorpční oběh), kterému musíme dodávat energii. Požadovaný efekt je zvýšení teploty (můžeme obecně hovořit, že z 0°C na vstupu dostaneme 50°C na výstupu). Toto teplo se předává do otopných systémů.

Tepelnému čerpadlu tedy k přečerpávání tepla je třeba dodat energii. V praxi to znamená, že tepelné čerpadlo spotřebovává buď elektrickou energii, mechanickou práci, nebo termální energii. Například kompresor dokáže stlačit plyn a tím mu zvýšit teplotu. Je to tedy podobné jako s vodou: samovolně teče voda vždy jen shora dolů, stejně jako teplo. Dodáme-li jí ale energii - vodním čerpadlem - , voda může být přemístěna i "do kopce".

Tepelné čerpadlo, jak lze zjednodušeně říci, spotřebovává přibližně jednu třetinu svého výkonu ve formě elektrické energie. Zbývající dvě třetiny tvoří teplo, které je odnímáno z ochlazované látky (vzduch, země, voda).

Tepelná čerpadla pracují na základě obráceného Carnotova cyklu, tedy levotočivého chladicího. Tento cyklus je uzavřený a vratný, viz Obr. 2.2. [4]



Obr. 2.2 Carnotův cyklus znázorněný v T - S diagramu

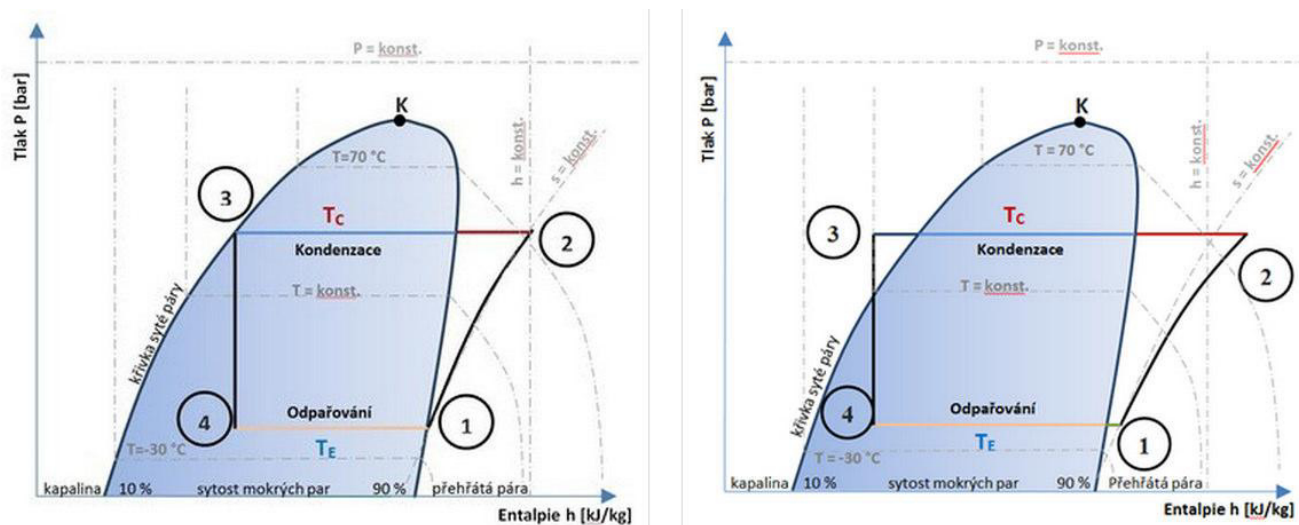
1 \rightarrow 2 Adiabatická komprese

3 \rightarrow 4 Adiabatická expanze

2 \rightarrow 3 Kondenzace chladiva

4 \rightarrow 1 Vypařování chladiva

Pracovní oběh chladicího zařízení se častěji vyjadřuje pomocí p-h diagramu (závislost tlaku na entalpii). Na Obr. 2.3 je znázorněn tzv. Rankinův oběh, který je tepelným čerpadlům bližší než Carnotův. Je zde porovnán jak ideální průběh, tak i reálný.



Obr. 2.3 Ideální (vlevo) a reálný (vpravo) Rankinův chladicí cyklus [4]

2.3. COP - Topný faktor

Topný faktor (COP, z anglického Coefficient of Performance) je při výběru TČ jedna z nejdůležitějších hodnot. Vyjadřuje účinnost zařízení. Udává spotřebu vstupní energie (většinou elektřiny pro pohon kompresoru) k množství získaného tepla. Hodnota topného faktoru nám tedy vlastně říká kolikrát více výkonu dostaneme na straně topného média oproti dodanému příkonu na všechny napájené (nebo jinak energeticky dodávané) komponenty. Jestliže je tedy hodnota COP pro dané podmínky např. 3, tak to znamená, že z 1 kW dodané energie tepelné čerpadlo vyprodukuje 3 kW tepla.

Zmíněnými podmínkami jsou myšleny teploty například vzduchu (NPT, obnovitelný zdroj energie), značené zkratkou A (z anglického Air) a teplota vody, jakožto topné medium, značená zkratkou W (Water). COP rovno hodnotě 3 tedy může být za podmínek např. A2/45.

Čím menší je rozdíl těchto dvou teplot, tím bude vyšší COP. Vyšší COP znamená vyšší účinnost tepelného čerpadla, vyšší efektivita provozu. Aby rozdíl teplotních hladin byl co nejmenší, je tedy žádoucí ochlazovat co nejteplejší látku. Teoreticky můžeme ochlazovat cokoli až k absolutní nule (-273°C), pro běžnou praxi se teploty ochlazovaných látek pohybují kolem 0°C . O tepelném čerpadlu lze říci, že je účinné a efektivní, je-li jeho topný faktor COP minimálně 2,5 - 3.[5]

$$COP_c = \frac{Q_c}{|A|} \quad \text{chladicí faktor}$$

Rov. 2.1

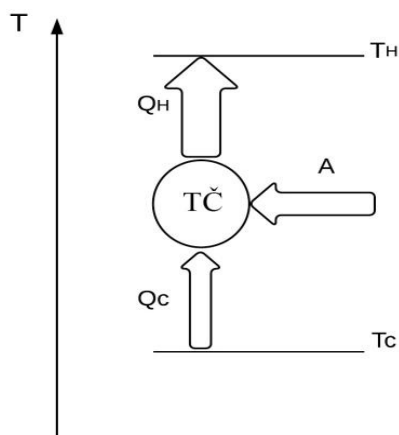
$$|Q_h| = Q_c + |A| \quad \text{tepelná bilance}$$

Rov. 2.2

$$COP_t = \frac{Q_h}{A} \quad \text{topný faktor}$$

Rov. 2.3

COP_T	topný faktor
COP_C	chladicí faktor
Q_h	topný výkon [kW]
Q_c	chladicí výkon [kW]
A	příkon kompresoru [kW]



Obr. 2.4 Topný faktor TČ [4]

Nejvíce rozšířeným principem tepelných čerpadel je využití varu a kondenzace pracovní látky, kterou nazýváme chladivo. Známé aplikace tohoto principu jsou:

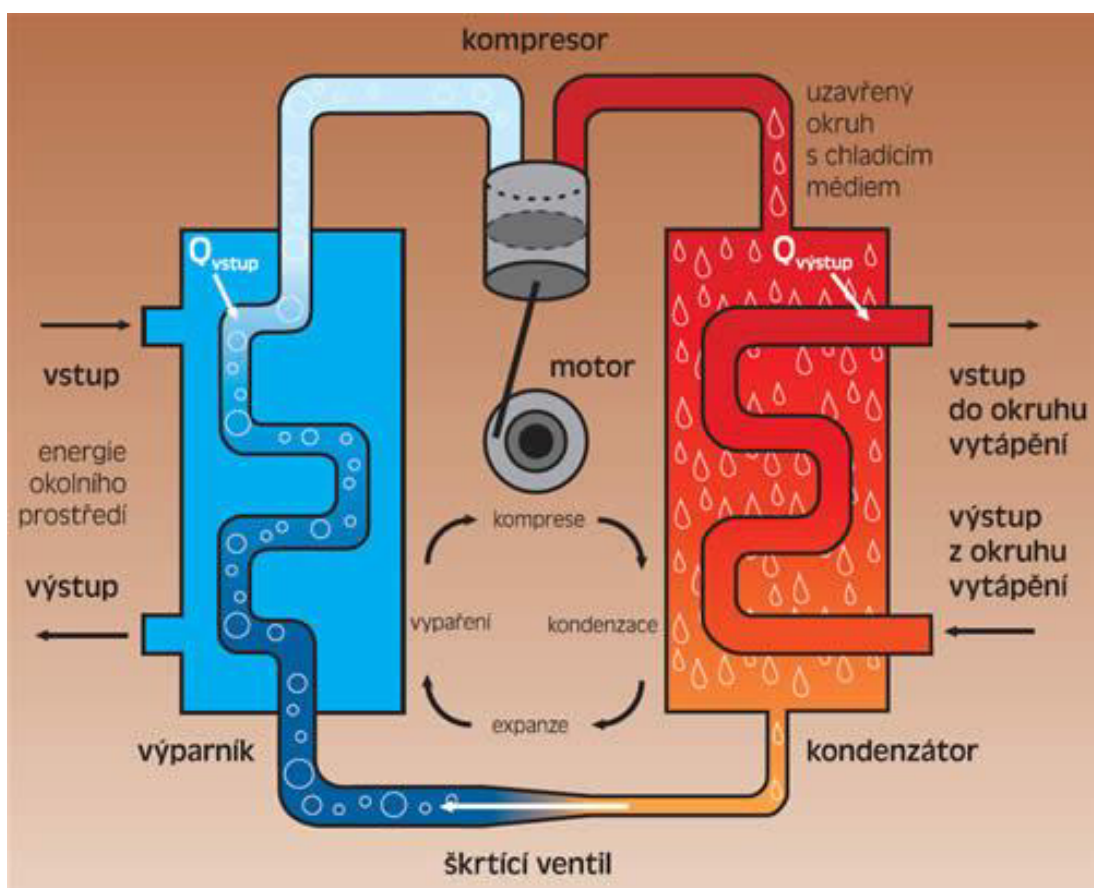
- parní oběhy (kompresorové)
- absorpční oběhy
- hybridní oběhy

2.4. Kompresorová tepelná čerpadla (KTČ)

Jedná se o zcela jistě nejpoužívanější typ tepelného čerpadla. Cirkulaci a přečerpávání tepla u tohoto typu TČ zajišťuje, jak z názvu vyplývá, kompresor. Jednotlivé typy kompresorů budou popsány v kapitole 3.4.1. Pro pohon kompresoru se využívá nejčastěji elektrická energie (pro elektromotor zabudovaný v kompresoru), může být ale také mechanická, jak je tomu např. u plynových tepelných čerpadel.

U nich je kompresor připojen přes spojku na plynový spalovací motor, který spalováním zemního plynu vytváří mechanickou energii. Teplo ze spalin se dále využívá a zvyšuje tak celkové COP. Výhodou takové aplikace je vlastní lokální tvorba chladu/tepla bez závislosti na dodávce elektřiny.

Kompresorová tepelná čerpadla využívají faktu, že teplota varu nebo kondenzace různých látek závisí na tlaku. Var této látky za nízké teploty a tlaku je požadovaná vlastnost pro chladicí okruh. Těmto látkám se v chladírenské terminologii říká chladiva. Právě díky jejich termodynamickým vlastnostem může chladicí oběh fungovat. Chladivo proudí skrz všechny komponenty chladicího oběhu, a v závislosti na dané části okruhu je buď v kapalně nebo plynné fázi. Zařízení podle toho chladí nebo topí.



Obr. 2.5 Chladicí okruh kompresorového tepelného čerpadla [4]

Princip:

Chladivo ve formě kapaliny o nízkém tlaku se vypařuje ve výparníku. Je to způsobeno odebráním tepla nějakému zdroji NPT (vzduch, voda, země). Dodané latentní teplo způsobuje změnu fáze a chladivo se stává plynem. Předané teplo se zde nazývá chladicí výkon, protože se NPT zdroj ochlazuje. Za výparníkem páry chladiva pokračují do kompresoru.

V kompresoru jsou páry stlačeny na vyšší tlak (řádově o jednotky až desítky barů). Teplonosná látka má tím pádem vyšší teplotu. Aby k tomu došlo, je potřeba dodat kompresoru již zmíněnou energii. Ohřátá plynná fáze dále putuje do kondenzátoru.

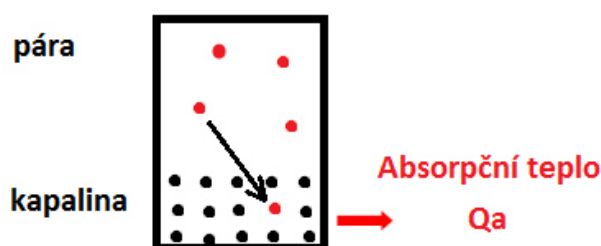
Zde jsou páry chladiva ochlazovány topným médiem (vodou) a z chladiva se stává opět kapalina. Voda je ohřátá na požadovanou teplotu opět díky výdeji latentního tepla (tepla uvolňujícího se při změně fáze). Vzniká zde topný výkon. Kapalná fáze chladiva má za kondenzátorem nízkou teplotu, ale stále vysoký tlak.

Z tohoto důvodu je za kondenzátorem umístěn expanzní ventil, který snižuje tlak kapalného chladiva na potřebnou hodnotu. Odtud látka pokračuje do výparníku a celý proces se opakuje. Tento proces je také schematicky znázorněn na Obr. 2.5.

2.5. Absorpční TČ

U tohoto typu TČ není použit kompresor, nebo nějaká jiná pohyblivá mechanická část. Absorpční TČ jsou totiž poháněna termálně. Je tím tedy docíleno tichého a spolehlivého chodu. V současnosti se však absorpční TČ pro vytápění domů téměř nepoužívají a trh je nenabízí pro svoji horší efektivitu. Lze však stále zakoupit chladničky nebo klimatizační jednotky založené na principu absorpce. [5]

Princip absorpce je postaven na tom, že se v kapalinách rozpouštějí plyny nebo páry. Tyto kapaliny jsou nazývány absorbent, tedy kapalina, která je schopná absorbovat páry jiné látky.



Obr. 2.6 Princip absorpce

Na obr. 2.6 je znázorněn princip absorpce. V desorbéru se zahřívají dvě látky s rozdílným bodem varu. Kapalina (absorbent) a plynná složka, u TČ je to chladivo (absorbát). Jednotlivé molekuly přehřáté páry jsou pohlcovány kapalinou. Tyto molekuly v kapalině nezkondenzují, naopak, zůstávají zde nadále v plynné formě. Přehřátá pára vibruje a vibracemi a jejich ustálením se uvolňuje absorpční teplo. Toto absorpční teplo je přibližně 1,5x větší než teplo kondenzační (latentní). [4]

$$Q_a = 1,5 \times l_{23}$$

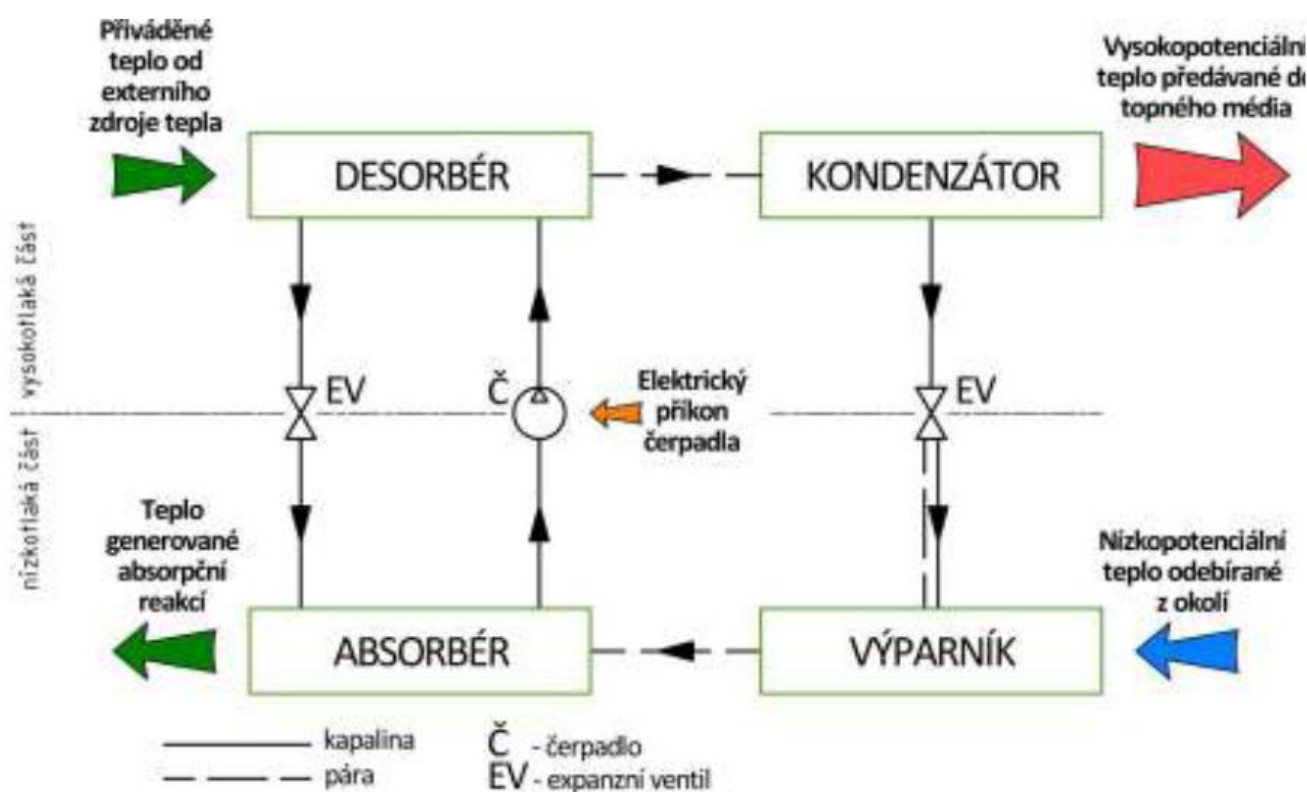
Rov. 2.4

Jako pracovní dvojice se používají nejčastěji amoniak (NH_3) - voda, nebo voda - vodný roztok bromidu lithného (LiBr). Na obr. 2.6 je znázorněno, jak takové absorpční TČ funguje a jak je zapojeno. Do desorbéru je přiváděno teplo, které je většinou zbytkové. Toto teplo zde způsobí proces opačný k absorpci, tzv. desorpce - vypuzování plynu z kapaliny zahřátím. Dojde tak k odseparování chladiva od absorbentu, který se vrací vratnou větví zpět do absorbéru. Pro toto vypuzení desorpce potřebuje přivést tepelný tok s poměrně vysokou teplotní hladinou (80 až 120°C). Z generátoru putuje chladivo ve formě par do kondenzátoru, kde zkondenzuje a teplo se odvádí do topného média. Kondenzát chladiva přes expanzní ventil proudí do výparníku, kde se za pomoci nízkopotenciálního tepla vypaří. Páry chladiva jsou poté v absorbéru pohlceny kapalinou a díky chemické reakci se zde uvolní 1,5x větší teplo, než v kondenzátoru. Roztok proudí opět do generátoru a proces se opakuje. [4]

Topný faktor je dán poměrem mezi získaným teplem a teplem dodaným. Získané teplo je teplo vzniklé na kondenzátoru a teplo vzniklé chemickou reakcí na absorbéru. Dodané teplo je teplo dodané k desorpci - to musí být značně velké, proto se většinou jedná o odpadní zbytkové teplo.

$$\text{COP}_T = \frac{Q_{ab} + Q_k}{Q_d}$$

Rov. 2.5



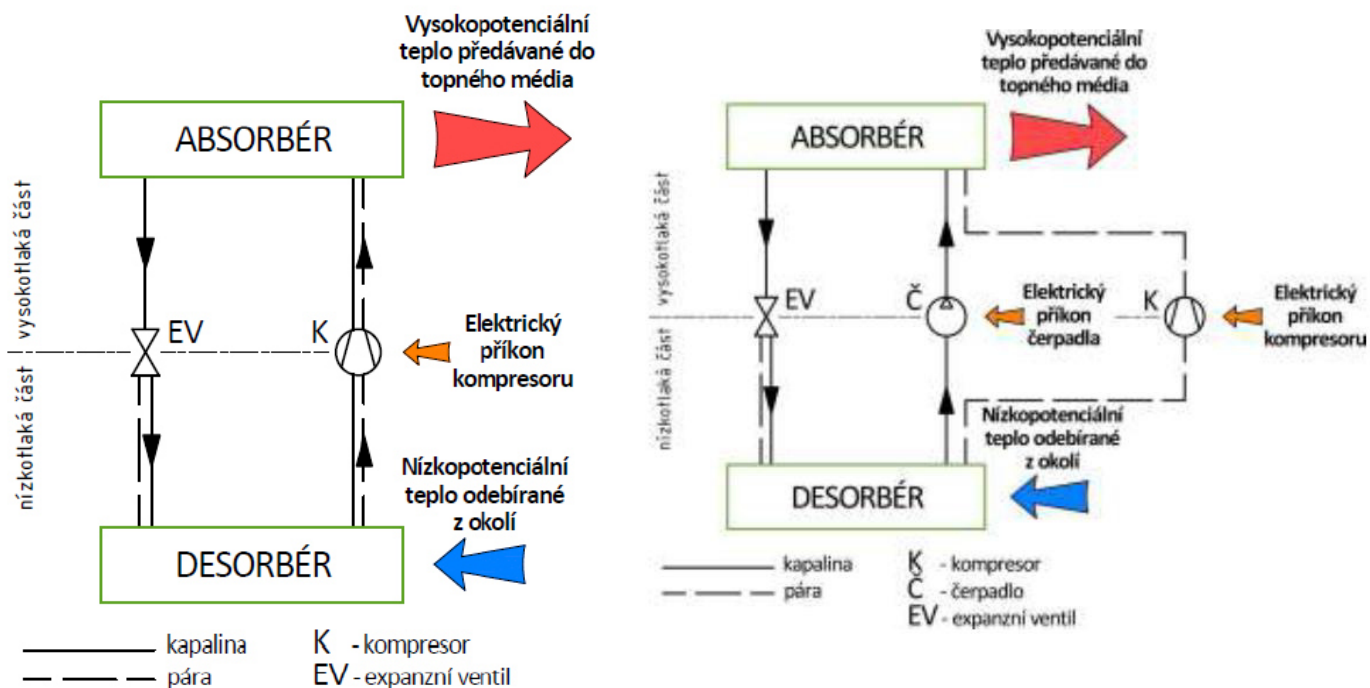
Obr. 2.6 Schéma absorpčního oběhu [1]

2.6. Hybridní TČ

Hybridní TČ lze označit za KTČ s použitím vícesložkové pracovní směsi (absorbent + chladivo). Roli výparníku v této aplikaci plní desorbér a místo kondenzátoru je zde absorbér. Cirkulaci pracovní směsi může být zajištěna dvěma způsoby.

V prvním případě (Obr. 2.7 - vlevo) je absorbent dopraven z desorbéru do absorbéru za pomoci čerpadla a druhá složka směsi - chladivo - je přivedena do absorbéru kompresorem, jako u klasického KTČ. Na absorbéru se tak vytvoří topný výkon způsobený kondenzací chladiva a zároveň zde dochází k chemické reakci, která je popsána rovnicí 2.4. Směs se přes expanzní ventil vrací zpět do desorbéru, do kterého je přiváděno nízkopotenciální teplo odebírané z okolí, z kapaliny se stává plyn a proces se opakuje.

Druhý způsob se nazývá "mokrý komprese" - směs chladivo + absorbent je z desorbéru dopravována do absorbéru pouze kompresorem. Schematicky je tento případ znázorněn na Obr. 2.7 - vpravo. [6]



Obr. 2.7 Schéma hybridního TČ s mokrou kompresí (vlevo) Oddělený oběh (vpravo)[1]

2.7. Zdroje NPT tepla a zapojení TČ



Obr. 2.8 Možnosti využití NPT zdrojů tepla pro vytápění [7]

2.7.1. TČ odevzdávající teplo do vody

Na Obr. 2.8 je znázorněno, jak TČ bývá zapojeno. Od zdroje NPT je chladicí okruh napojen na otopný systém budovy - jedná se tedy o tepelné čerpadlo odevzdávající teplo do vody, jde o typ vytápění pomocí otopných těles, podlahového, stěnového a stropního topení. Tento typ zapojení je výhodný hned z několika hledisek. Největším z nich je skutečnost, že se TČ dá instalovat pro již existující otopný systém (zařízení však musí být vhodně zvoleno - otopný systém může být dimenzován jako vysokoteplotní, pro který není TČ příliš vhodné). Další výhodou je vysoká měrná tepelná kapacita vody (při 20 °C je cca na hodnotě 4200 J/Kg*K). To dává uživateli možnost akumulovat teplo v době, kdy není teplo využíváno (nevytápí se). Děje se tak v akumulčních nádržích, které díky své izolaci dokáží udržet vysokou teplotu vody po dlouhou dobu. Zapojení k tepelným zásobníkům je využíváno také pro ohřev TUV (teplá užitková voda), nebo pro ohřev vody v bazénu.

TČ odevzdávající teplo do vody se dělí podle NPT zdroje. Může jím být vzduch, voda nebo půda. V těchto médiích se nachází teplo, které je k těmto látkám vázáno při nízké teplotě a pomocí TČ se přečerpává na teplotu vyšší. Pro tepelná čerpadla se používají označení:

- vzduch - voda
- voda - voda
- země - voda

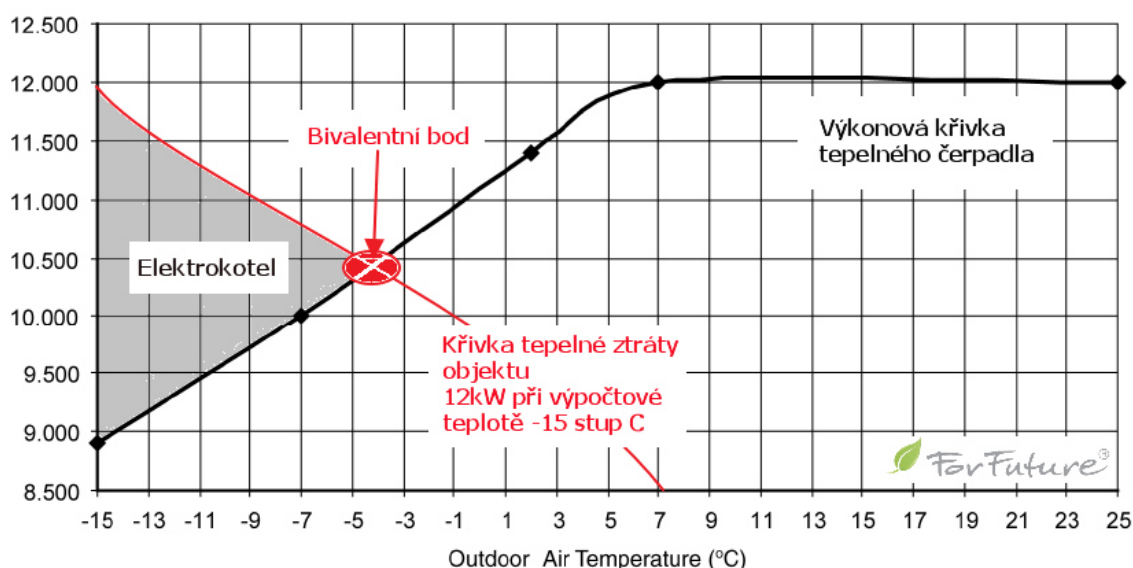
První slovo říká, jaký zdroj NPT je použit, druhé slovo pak označuje, do jakého média je přečerpané teplo předáváno. V kapitolách 2.7.2 až 2.7.4 budou popsány jednotlivé zdroje NPT a jejich zapojení k topnému médiu - vodě.

2.7.2. Vzduch

Vzduch je všude okolo nás a je zdarma. To je jeho, jakožto zdroje NPT, největší výhoda. Jeho celková tepelná energie se vlivem odběru tepelným čerpadlem téměř nemění - odebrané teplo (vzduch je pro funkci TČ ochlazován) je vzduchu vráceno ve formě tepelných ztrát budovy, která je za pomoci tohoto TČ vytápěna. Obecně se dá říci, že tento typ TČ lze provozovat až do venkovní teploty -20 °C. [1]

Nevýhodou tohoto zdroje je, že s poklesem venkovní teploty vzduchu klesá také účinnost TČ. V době nejvyšší potřeby vytápění (velké mrazy) je topný výkon nejnižší možný. Tento problém bývá většinou řešen spuštěním přídatného zdroje tepla, kterým může být např. elektrokotel nebo plynový kotel. Tento přídatný zdroj se při určitém poklesu teploty automaticky spouští. Kombinaci TČ s přídatným zdrojem tepla se říká bivalence, tedy bivalentní TČ. TČ bez této kombinace - bez přídatného zdroje - je označováno jako monovalentní. Vliv venkovní teploty na topný výkon je znázorněn na Obr. 2.9. Místo protnutí křivek tepelné ztráty objektu a výkonové charakteristiky TČ určuje tzv. bivalentní bod, který určuje oblast sepínání nebo odepínání přídatného zařízení.

Na výparníku vlivem vlhkosti venkovního vzduchu a odběru tepla dochází k namrzání - to snižuje topný faktor a efektivitu oběhu. Děje se tak při teplotách nižších než 5 °C. Většinou se tento problém řeší přepnutím vytápěcího režimu do režimu reverzního.

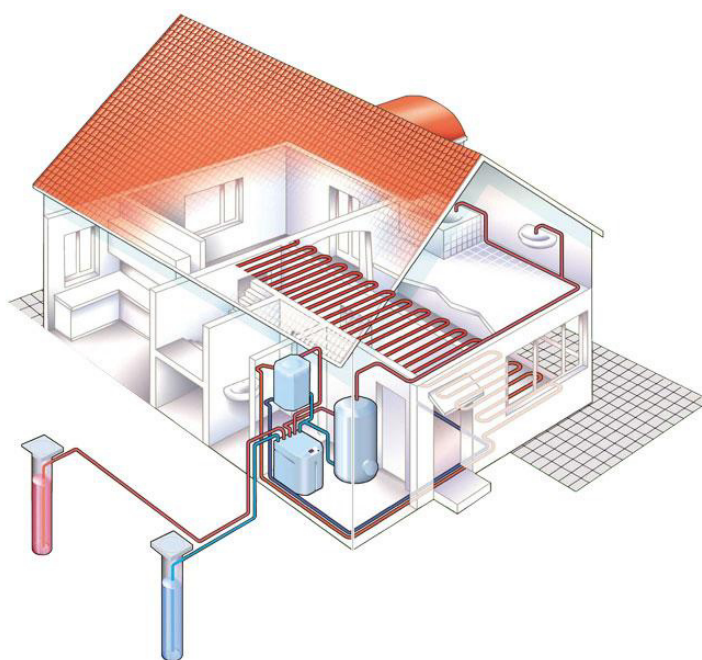


Obr. 2.9 Vliv venkovní teploty na topný výkon TČ vzduch/voda [4]

2.7.3. Voda

Tepelné čerpadlo voda - voda má nejvyšší topný faktor ze všech tří zdrojů NPT. Je tak dáno díky vysoké měrné tepelné kapacitě vody. Tento zdroj NPT se však na rozdíl od vzduchu nenachází všude, proto jej nelze provozovat kdekoliv - pro instalaci tohoto zařízení je potřeba specifická lokace. TČ čerpadla voda - voda využívají jako zdroj:

- **povrchovou vodu**
 - rozumí se jí řeky, jezera, rybníky či nádrže
 - nejnižší teplota vody jako zdroje jsou 4 °C. O této teplotě je voda ochlazována odběrem tepla kolektorem TČ - při teplotě vody 4 °C se po odevzdání tepla dostává voda na krajní hodnotu zamrznutí
 - odběr tepla z vody je realizován stejně jako u TČ země - voda s plošnými kolektory. Jako výměník je použita polyetylenová hadice na dně řeky, naplněná nemrznoucí směsí, která odebírá teplo vodě [1]
- **podzemní vodu**
 - v zimě nezamrzá, v hloubce větší než 10 m si drží teplotu okolo 8 až 10 °C
 - spodní voda se odebírá ze zdrojové studny a po jejím ochlazení se přepouští do druhé, tzv. vsakovací studny
 - nejvyšší roční COP při nejnižších nákladech - okruh ale musí být chráněn proti zamrznutí výměníku, v případě výpadku zdrojové vody [4] Viz Obr.2.10
- **geotermální prameny**
 - mnohem vyšší teploty než běžná podzemní voda - vyšší výkony
 - TČ využívající geotermální prameny se kvůli chemickému složení pramenů používají s uzavřeným systémem - obdobná konstrukce jako u TČ s povrchovou vodou [1]

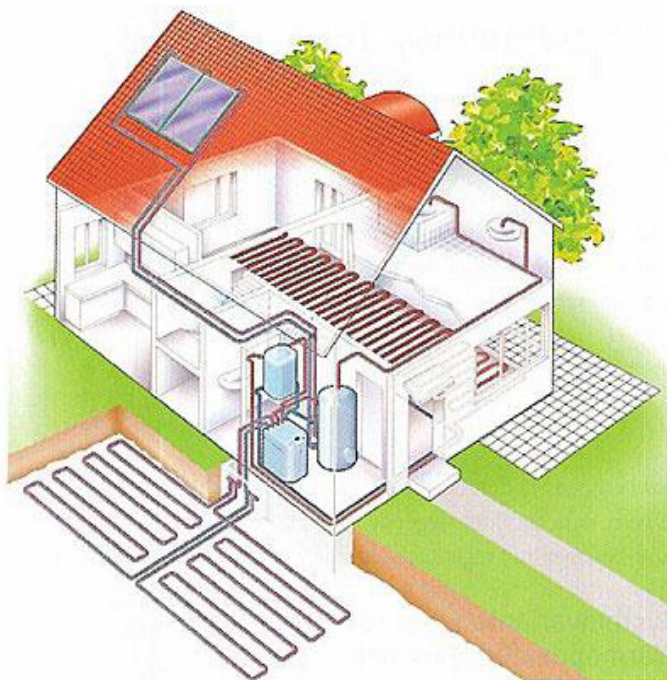
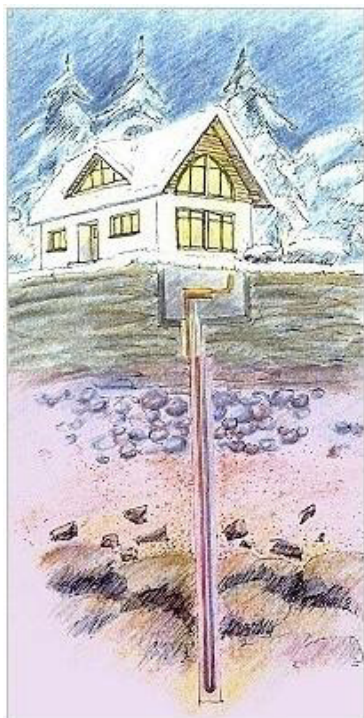


Obr. 2.10 Voda proudí z červené sací studny do TČ, kde se jí odebírá teplo a vrací se zpět do podloží vsakovací (modrou) studnou

2.7.4. Země

Jedná se vzhledem k venkovním klimatickým podmínkám o nejstabilnější NPT zdroj. Od hloubky zhruba 1,5 metru země již nepromrzá a má stabilní teplotu. To zaručuje uživateli tepelného čerpadla celoroční komfort a zařízení nepotřebuje žádný přídavný zdroj tepla. Existují dvě základní aplikace TČ země - voda:

- **Hloubkové vrtý**
 - používané tam, kde není k dispozici dostatečná plocha zeminy pro půdní kolektor
 - důležitým parametrem je tepelná vodivost hornin, do kterých jsou vrtý provedeny
 - na 1 kW topného výkonu je zapotřebí provést 12 až 18 metrů vrtu, přičemž cena jednoho metru vrtu je cca 1000 Kč
 - ve vrtu je umístěna speciální hadice kolektoru, ve které proudí nemrznoucí směs - nejčastěji vodní roztok monopropylenglykolu nebo monoethylenglykolu [4]
- **půdní vrstva**
 - oproti hloubkovým vrtům jsou zde lepší pořizovací náklady, za cenu nutnosti velké nezastavěné plochy a nižšímu COP
 - výměník je realizován pomocí hadic umístěných v hloubce 1,5 až 2 metry (polyetylen) naplněných nemrznoucí směsí - ta odebírá půdě teplo - směs pak přes deskový výměník předává teplo samotnému chladivu v chladícím okruhu TČ
 - velikost plochy půdního výměníku je zhruba třikrát větší než plocha vytápěná [4]

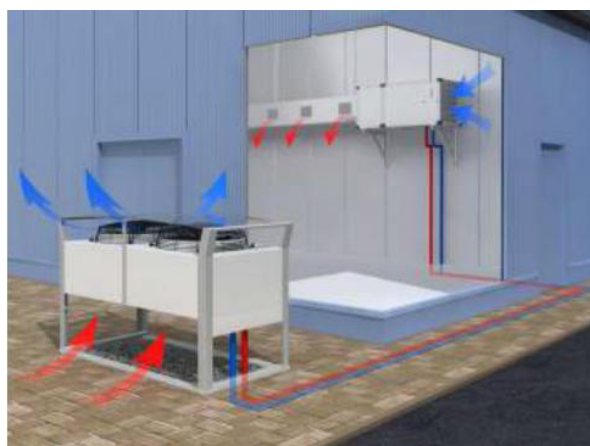


Obr. 2.11 Hloubkový vrt a půdní kolektor [4]

2.7.5. TČ odevzdávající teplo do vzduchu

Tento typ TČ je používán pro teplovzdušné vytápění, nebo také pro chlazení. Jedná se vlastně o obrácený chod klasické klimatizace, která primárně slouží k chlazení, ale po přepnutí do režimu vytápění se z ní stává TČ vzduch - vzduch.

Teplovzdušné vytápění pomocí tepelného čerpadla je ideální variantou pro velké supermarkety, průmyslové haly a další velkoobjemové prostory, na něž jsou kladeny velké nároky ohledně stálé optimální teploty.



Obr. 2.12 TČ vzduch - vzduch [8]

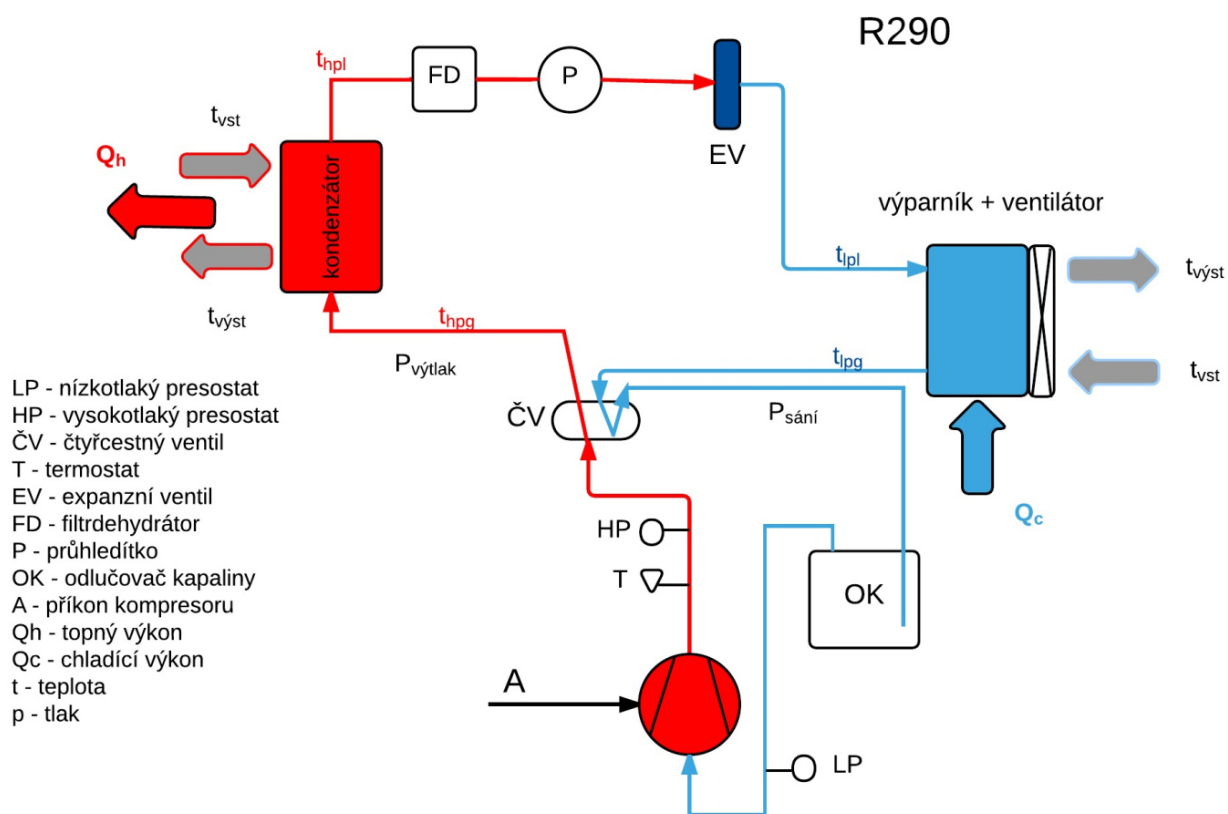
Tato zařízení dokáží velmi pružně a rychle reagovat na aktuální potřebu tepla / chladu. Také je zde možnost použití TČ pro rekuperaci tepla, kdy je ve výsledku odpadní vzduch přečerpán na vyšší teplotní hladinu. Lze tak prostor vytápět a zároveň větrat. Nevýhodou je zde nemožnost akumulace tepla a ohřev TUV. Většina těchto jednotek také potřebuje bivalentní provoz - přídatný zdroj vytápění. [1]

3. KOMPRESOROVÉ TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH - VODA

Tento typ TČ je v současnosti nejvyužívanější pro režim vytápění. Vzduch, jakožto zdroj NPT je všude okolo nás a je zcela zdarma. Další výhodou je, že není zapotřebí použití drahých konstrukčních provedení. KTČ vzduch - voda se provádějí v aplikacích čistě pro režim vytápění, dále pro kombinaci režimu vytápění a chlazení. Velmi blízkým typem takového zařízení je KTČ vzduch - voda s možností reverzního (obráceného) chodu oběhu pro odmrazování výparníku. Více bude tato problematika rozebrána v kapitole 3.2.

3.1. Režim vytápění

V kapitole 2.4 je popsán chladicí okruh KTČ. V této kapitole je podrobně popsán komplexní oběh KTČ s možností reverzace chodu pro režim vytápění.



Obr. 3.1 Režim vytápění KTČ vzduch - voda

Princip chladicího oběhu pro režim vytápění je schematicky znázorněn na Obr. 3.1. Chladivo ve formě směsi kapaliny a plynu (mokrý pára) přichází do výparníku, aby se směs vypařila a změnila fázi kapalnou za fázi plynou. K tomu je zapotřebí dodat do výparníku dostatečné množství chladicího výkonu. To je vyřešeno pomocí nuceného průtoku vzduchu - axiálním ventilátorem. Páry by neměly zůstat na fázové hranici plyn/kapalina, ale měly by se přehřívat pro dosažení větší stability - tento efekt zabraňuje nežádoucí kondenzaci chladiva

před kompresorem. Vypařovací teplota chladiva může být velmi nízká (až $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), tlak v této sekci tomu tedy musí odpovídat.

Přehřátá pára proudí z výparníku skrz čtyřcestný ventil do sací nízkotlaké sekce do kompresoru. Z bezpečnostních důvodů je před kompresorem umístěn odlučovač kapaliny, jehož funkce je pohlcovat případné kapičky kapaliny v přehřáté páře, což výrazně zvyšuje účinnost a životnost kompresoru. Odlučovač v tomto okruhu také zastává funkci sběrače chladiva (zásobníku).

Nutným bezpečnostním prvkem na sání do kompresoru je nízkotlaký presostat. Tato komponenta definuje nejnižší možný tlak v okruhu. Pokud tlak klesne pod tuto nejnižší dovolenou hodnotu a setrvá v tomto poklesu určitý časový úsek, presostat vypíná kompresor a tím pádem celý chladicí oběh.

Zkontrolovaná a odkapalněná přehřátá pára je nasávána kompresorem, který tuto páru o nízkém tlaku a teplotě přečerpává na vyšší teplotní hladinu. Na rozdíl od výparníku, kde teploty chladiva mohou vystupovat i se zápornými hodnotami teploty, na výtlaku kompresoru tyto hodnoty mohou dosahovat i $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Na výtlaku, za kompresorem, je umístěn vysokotlaký presostat. Ten zastává stejnou funkci jako presostat nízkotlaký, s rozdílem toho, že je definován nejvyšší možnou hodnotou tlaku. Pokud bude po určitý časový úsek překročena, presostat odepíná chod kompresoru. V některých aplikacích je kompresor zastaven ihned po překročení mezní hodnoty tlaku.

Na výtlaku je také umístěn termostat, který je podobně jako presostat definován nejvyšší povolenou teplotou na výtlaku. Při jejím překročení je kompresor opět ihned odstaven.

Stlačená přehřátá pára poté proudí přes čtyřcestný ventil do kondenzátoru. Zde dochází ke kondenzaci chladiva v deskovém (nebo jiném) výměníku - teplo je předáváno topné vodě. Chladivo tedy opět mění svoji fázi a z plynu se stává kapalina. Kondenzát je zde podchlazen pro zajištění stabilního kapalného chladiva s co nejmenším množstvím zbytkových par. V celé sekci je tlak na vysoké výtláčné hodnotě - proto je kondenzační teplota mnohem vyšší než vypařovací.

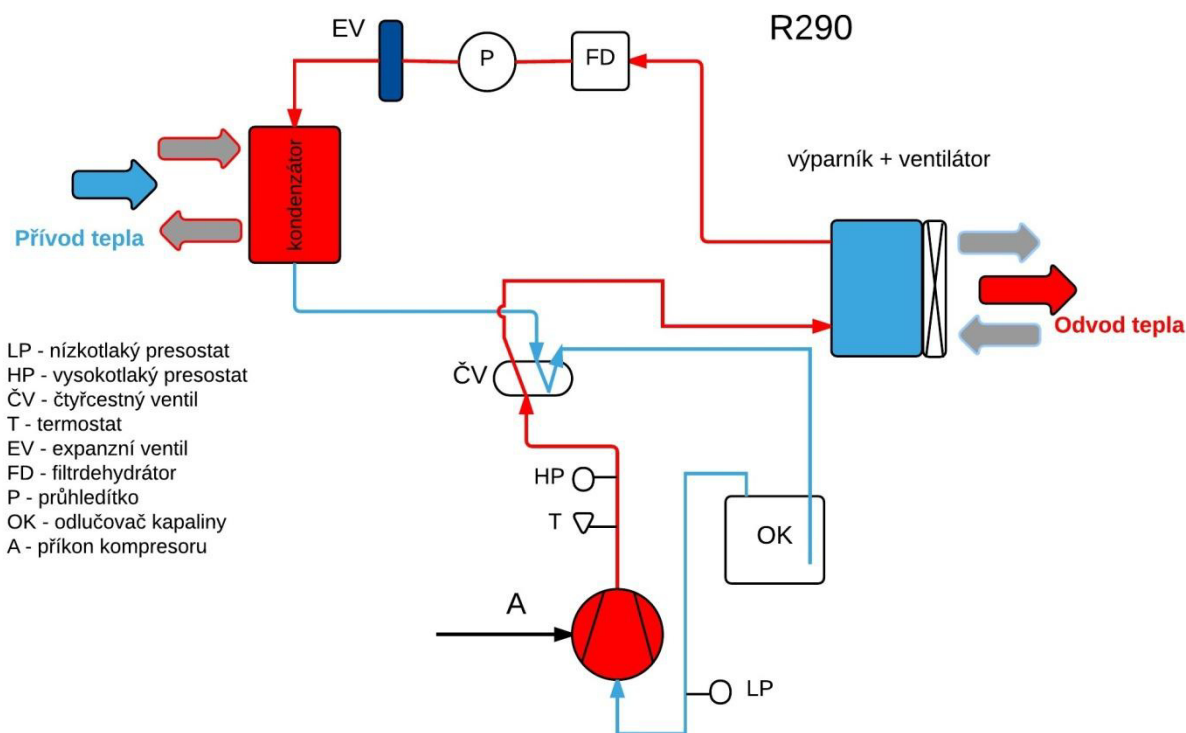
Za kondenzátorem je umístěn filtrdehydrátor, ve kterém je pohlcena vlhkost a malé pevné částičky. Z této komponenty už vychází jen čisté kapalné chladivo o vysokém tlaku.

Z filtrdehydrátoru pokračuje oběh přes průhledítko - to slouží k vizuální kontrole případných bublinek v kapalině. Bublínky mohou znamenat málo chladiva v oběhu. Průhledítka jsou často vybaveny vlhkoměrem, který dle změny barvy indikuje vlhkost chladiva.

Za průhledítkem je umístěn expanzní ventil (EV), který slouží k distribuci správného množství chladiva do výparníku z důvodu zajištění jeho optimálního provozního režimu. Další důležitou funkcí EV je zajištění poklesu tlaku a teploty chladiva a zároveň převedení kapalné fáze do fáze mokré páry. Díky regulaci tlaku EV přímo ovlivňuje výparnou a kondenzační teplotu chladiva v oběhu a zejména, pro správnou funkci důležité, přehřátí chladiva ve výparníku.

Před vstupem mokré páry do výparníku je zde řazen distributor kapalného chladiva, který je součástí dodávky výparníku. Tento distributor rozvádí kapalné chladivo do jednotlivých trubkových sekcí výparníku pro dosažení rovnoměrného průtoku chladiva ve všech sekcích. Mokrý pára se ve výparníku opět vypařuje a celý cyklus se opakuje. [1]

3.2. Reverzní režim



Obr. 3.2 Oběh KTČ v reverzním režimu

Princip reverzního režimu KTČ vzduch - voda je schematicky zobrazen na Obr. 3.2. Tento režim je zde zejména kvůli jeho funkci odmrazování výparníku.

Změnu z režimu vytápění do reverzního režimu zajišťuje, jak už bylo zmíněno čtyřcestný ventil. Zkomprimované páry proudí přes čtyřcestný ventil do výparníku, kde chladivo kondenzuje. Z výparníku se tak stává kondenzátor - teplo se odvádí na těleso výparníku a dochází tak k odtávání námrazy jeho povrchu.

Kapalné chladivo poté proudí skrz filtrdehydrátor, průhledítko do EV, odkud již putuje do kondenzátoru. Ten při reverzním režimu vykonává funkci výparníku - je mu předáváno vysokoteplotní teplo z topné vody (ochlazuje ji) a kapalné chladivo se zde vypařuje. Průtok chladiva je definován nastavením expanzního ventilu.

Poté přehřáté páry chladiva proudí na sání kompresoru, jehož funkce je neměnná - stlačuje a ohřívá plynné chladivo.

Nutnost odmrazování výparníku snižuje celkové COP. Je to jev nežádoucí, ale je s ním v každém případě počítat, alespoň v našich klimatických podmínkách.

Odmrazování výparníku se dá kromě reverzace chodu realizovat ještě několika dalšími způsoby:

- **Doběh ventilátoru**
 - použitelný při vyšších teplotách vzduchu (3 °C a více)
 - proud "teplého nezmrzlého" vzduchu je hnán ventilátorem skrz lamely výparníku po odepnutí kompresoru. Ventilátor běží do doby, než námraza odtaje

- **Topné tyče**
 - elektrické topné tyče umístěny v konstrukci výparníku - nutnost dalšího přívodu elektřiny
- **Samostatná trubková smyčka ve výparníku s nemrznoucí směsí**
 - smyčka odebírá teplo pomocí přídavného výměníku kondenzátu chladiva za kondenzátorem
 - získané teplo předáváno nemrznoucí směsí výparníku
- **Kombinace více metod odmrazování**

3.3. Chladiva v KTČ

Chladiva jsou neodmyslitelnou součástí chladicího oběhu. Zastávají funkci teplotně nosné látky. Jejich termodynamické vlastnosti zajišťují vypařování i za velmi nízkých teplot a díky tomu celý chladivový okruh může fungovat. Výběr chladiva pro dané zařízení, v tomto případě pro TČ je dán několika podmínkami:

- požadovaná oblast použití a provozní podmínky
- požadovaný výkon s ohledem na vlastnosti kompresoru
- doporučení výrobce kompresoru (kompresory jsou stavěny přímo pro daný typ chladiva)
- cena chladiva
- dostupnost chladiva
- ekologická nezávadnost (v dnešní době se na tuto podmínku čím dál více klade důraz)

Ekologická nezávadnost

Když půjdeme do historie, zjistíme, že chladiva měla v minulosti tvrdý dopad na ozonovou vrstvu. Koeficient **ODP** (Ozone Depletion Potential) vyjadřuje míru škodlivosti daného chladiva pro ozonovou vrstvu. Zodpovědnost za narušování ochranné vrstvy atmosféry mají chladiva především na bázi tvrdých freonů, s označením CFC (chlorované uhlovodíky). Mezi tato syntetická chladiva patří R11 a R12. Jejich výroba je dnes zastavena, v chladicích zařízeních jsou zakázána od doby, kdy se zjistil jejich negativní dopad. Další chladivo poškozující ozonovou vrstvu je R22 ze skupiny HCFC, to už je také postupně zakazováno. Hodnoty ODP pro různá chladiva jsou v Tab. 3.1

Dalším koeficientem hodnotícím ekologickou nezávadnost je **GWP** (Global Warming Potential). Hodnota GWP nám svojí výší sděluje vliv chladiva na skleníkový efekt. Skleníkový efekt je jedna z příčin globálního oteplování země. GWP je vztahen k molekule CO₂ (tato látka se mimo jiné používá jako přírodní chladivo), která má hodnotu GWP 1. Čím větší GWP chladivo má, tím větší měrou přispívá k tvorbě globálního oteplování. Proto např. Evropská Unie nařizuje do budoucích let používání chladiv s GWP pod hodnotu 2500 v roce 2020, viz Tab. 5.1. V tab. 3.1 jsou zobrazeny hodnoty GWP pro nejpoužívanější chladiva.

Chladivo	Skupina	Složení	ODP	GWP
R11	CFC	CCl_3F	1,00	4000
R12	CFC	CCl_2F_2	1,00	8500
R22	HCFC	CHClF_2	0,05	1500
R134a	HFC	$\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$	0	1300
R404A	HFC	R143a/R125/R134a	0	3260
R410A	HFC	R32/R125	0	1720
R507	HFC	R143a/R125	0	3300
R717, amoniak	HC	NH_3	0	0
R744, oxid uhl.	HC	CO_2	0	1
R290, propan	HC	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	0	3

Tab. 3.1 Hodnoty ODP a GWP pro nejpoužívanější chladiva

3.3.1. Syntetická chladiva

Syntetická chladiva se dělí do skupin CFC (tvrdé freony), HCFC a HFC (měkké freony). Zakázané tvrdé freony byly již popsány výše.

HCFC, neboli chlorované-fluorované uhlovodíky - nejvýznamnější zástupce je chladivo R22 s dobrými termodynamickými vlastnostmi. Vzhledem k jeho hodnotě ODP se dnes již nesmí používat.

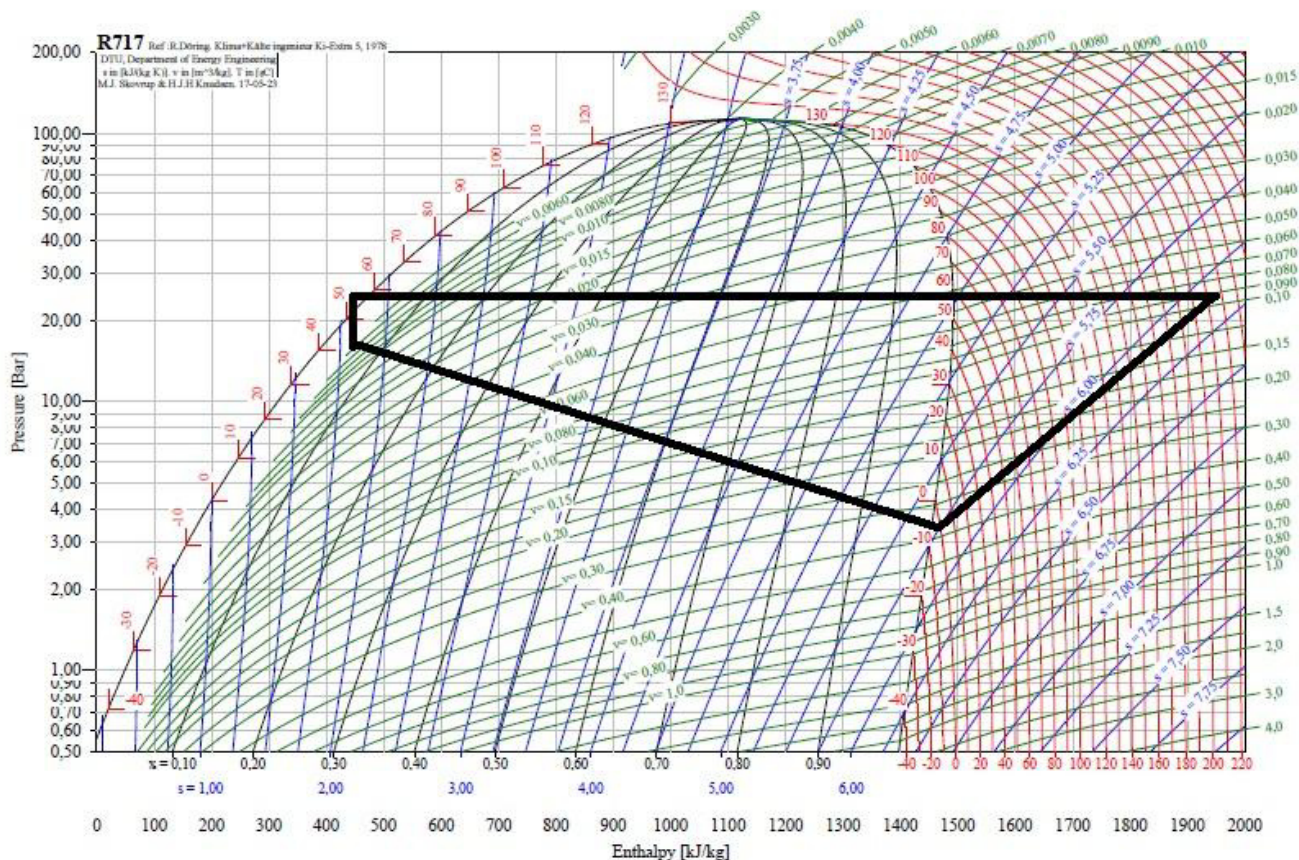
HFC, neboli fluorované uhlovodíky. Na trh byly uvedeny v roce 1992 a jsou dodnes používány díky nulové hodnotě ODP. Výše koeficientu GWP se pohybuje v hrubém rozsahu 1300 - 3300. Jejich výhodou je ve většině případů nehořlavost, netoxičnost a rozumné termodynamické vlastnosti. Tato chladiva ale budou pravděpodobně postupně nahrazována perspektivními přírodními chladivy, vzhledem k vysokému GWP. Nejpoužívanější chladiva z této skupiny jsou R134a, R410a, R407c a R404a.

3.3.2. Přírodní chladiva

Přírodní chladiva jsou složena buď na bázi organických uhlovodíků - skupina **HC** (R290, R1270, R600a, R601a), nebo jsou anorganická přírodní chladiva (R718 - voda, R718, R744). Mají minimální vliv na skleníkový efekt a nemají negativní dopad na ozonovou vrstvu. Nejpoužívanější přírodní chladiva jsou R717 (amoniak), R744 (oxid uhličitý), R290 (propan) a R600 (isobutan). Níže jsou popsány vlastnosti vybraných přírodních chladiv. [9] [10]

- **Amoniak**
 - třída B2 - jedovatý a částečně hořlavý, nevýbušný, výborné chladicí vlastnosti
 - není korozivní
 - pro malé aplikace téměř nepoužitelný, kvůli vysokým tlakům
 - použití pro velké chladicí zařízení, např. 400 m dlouhá rychlobruslařská dráha v Amsterdamu (40 tun R717)

Na obr. 3.3 je znázorněn p-h diagram s chladivovým oběhem R717 pro podmínky A2/W55. Vytvořeno v programu Coolpack.



Obr. 3.3 chladivový oběh R717 pro podmínky A2/W55

- **Oxid uhličitý**

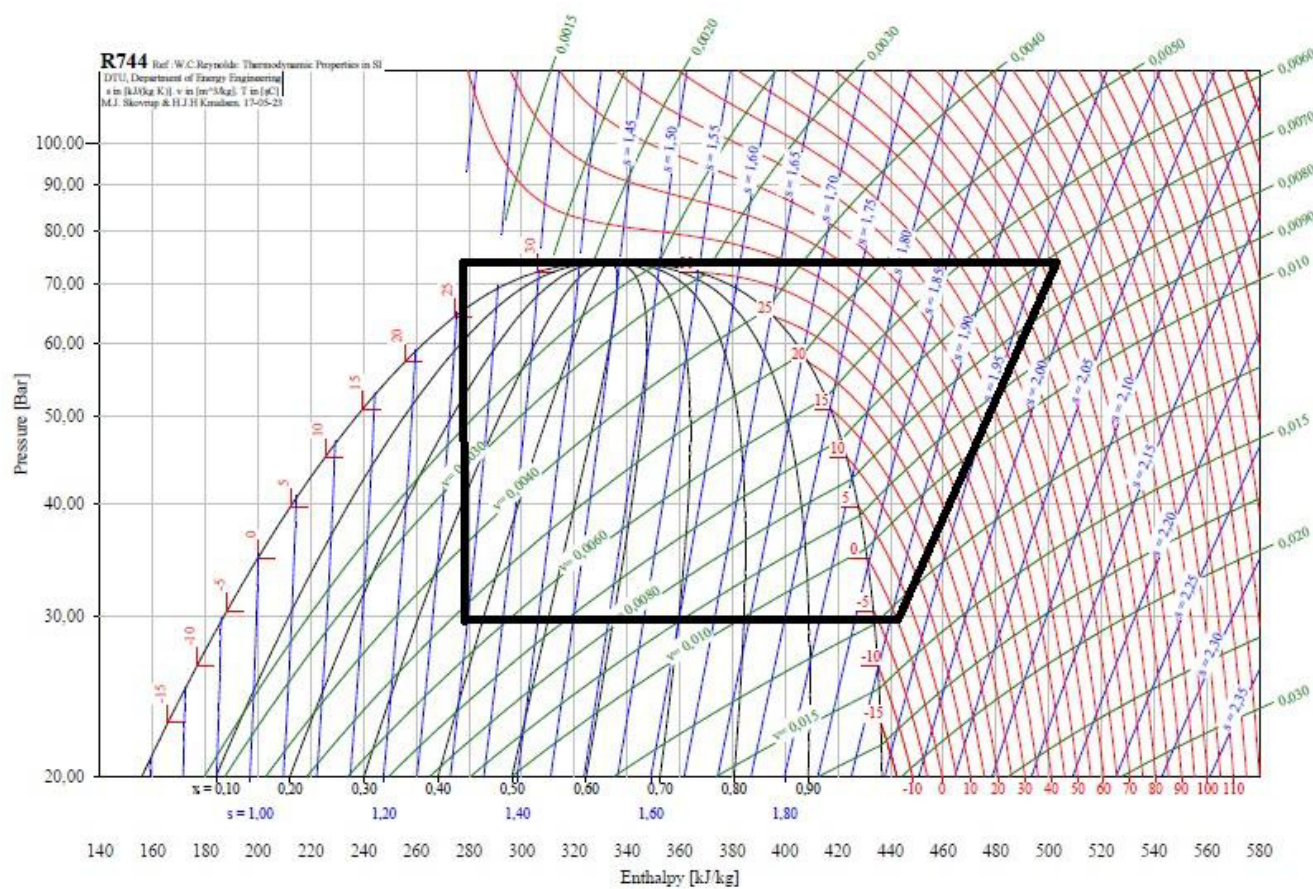
- nehořlavý a netoxický (třída A1), vždy horší energetická účinnost než okruhy s NH₃
- páry jsou těžší než vzduch - vysoká koncentrace R744 může člověka přivést do bezvědomí, komatu, nebo zcela potlačí kyslík ve vzduchu a způsobuje smrt
- ve spojení s vodou korozivní - často jsou nutné nerezové rozvody
- stejně jako NH₃, oxid uhličitý pracuje při vysokých tlacích, technologická náročnost
- využití - klíčová alternativa pro redukci náplně NH₃ - jako sekundární chladivo dopravované čerpadlem, nebo jako primární chladivo v kaskádních systémech

Chladivový oběh R744 pro podmínky A2/W55 je zobrazen na Obr. 3.4.

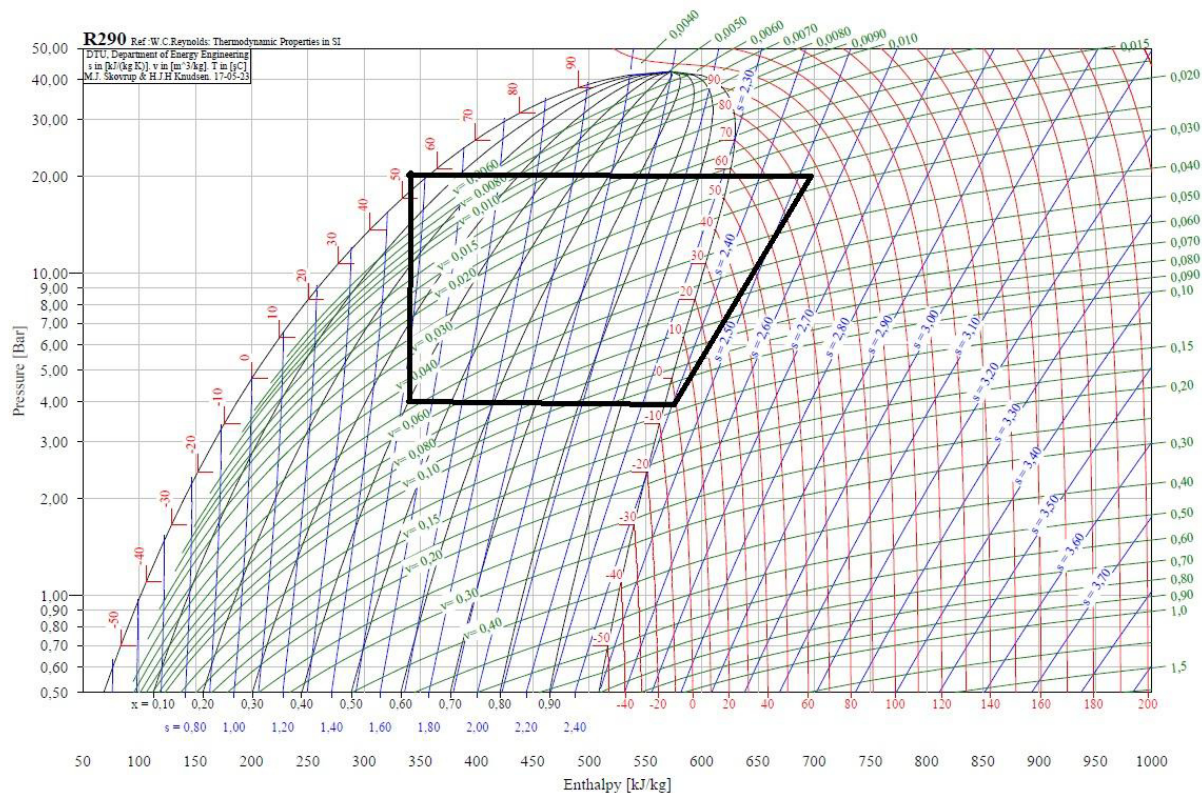
- **Propan**

- vysoce hořlavý (třída A3), maximální náplň chladiva 750 g, jinak Ex-podmínky ATEX 1, ATEX 2
- termodynamické vlastnosti blízké chladivu R22, rozumné hodnoty tlaků a teplot
- použití i u menších aplikací, vhodné pro TČ

Chladivový oběh R290 pro podmínky A2/W55 je zobrazen na Obr. 3.5.



Obr. 3.4 Chladivový oběh R744 pro podmínky A2/W55- pro návrh nepoužitelné

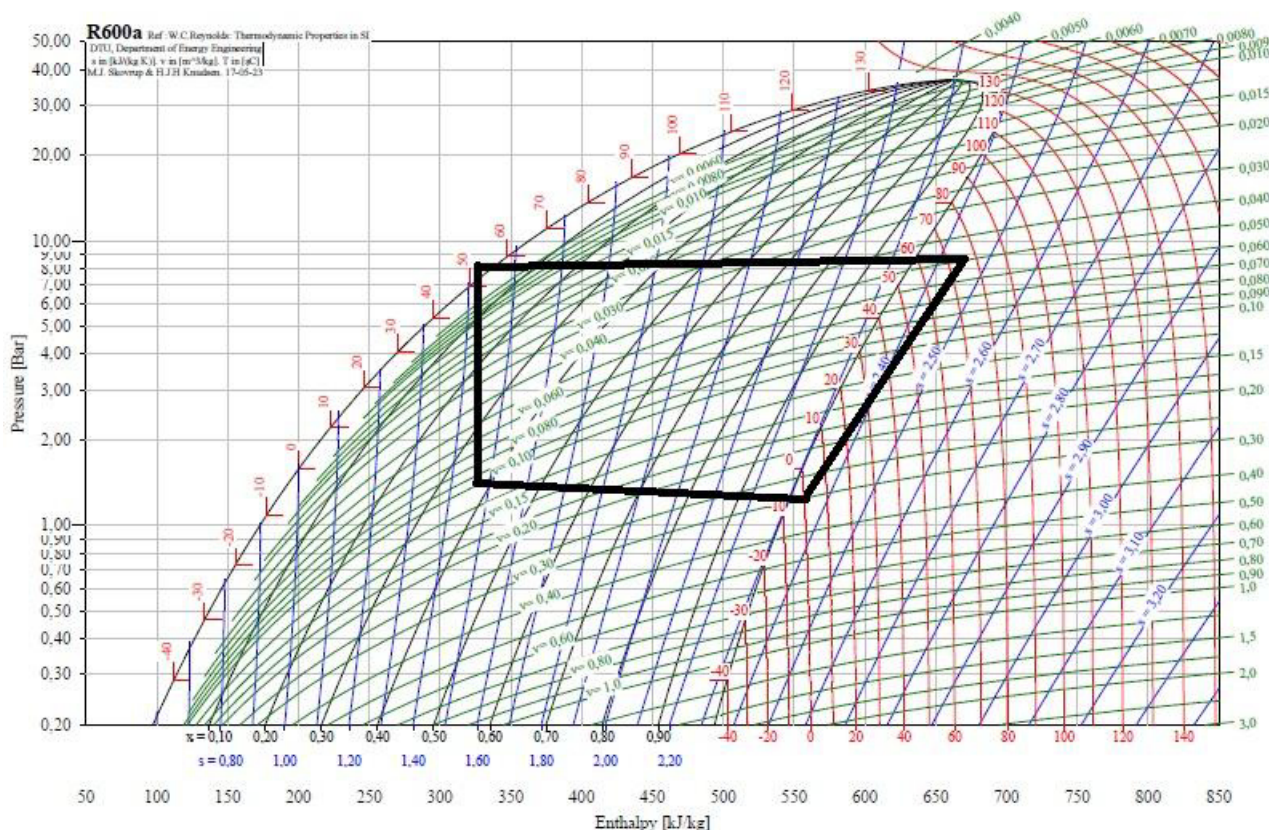


Obr. 3.5 Chladivový oběh R290 pro podmínky A2/W55

• Isobutan

- třída hořlavosti A3 - vysoce hořlavý
- v Evropě pracuje 95% ledniček s chladivem R600a
- je limitován svojí menší objemovou kapacitou a vyššími tlaky - použití jen pro malá zařízení

Na Obr. 3.6 je znázorněn chladivový oběh R600a pro podmínky A2/W55



Obr. 3.6 Chladivový oběh R600a pro podmínky A2/W55

Chladivo							
	Jednotka	R32	R410a	R134a	R407c	R22	R290
GWP	-	675	2088	1430	1800	1810	3
Kondenzační tlak	bar	37,64	36,69	16,04	24,12	23,24	20,31
Vypařovací tlak	bar	6,68	6,56	2,34	3,71	4,08	3,93
Teplota na sání	°C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Teplota na výtlačku	°C	114,24	91,12	70,33	81,78	91,93	70,14
Teplota za kondenzátorem	°C	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00	53,00
Chladicí výkon	kW	217,40	134,74	124,06	129,54	139,74	232,63
Topný výkon	kW	293,67	185,05	165,51	177,21	185,67	312,21
Příkon	kW	76,27	50,31	41,45	47,66	45,93	79,59
COP	-	3,85	3,68	3,99	3,72	4,04	3,92

Tab.3.2 Porovnání chladiv v softwaru Coolprop za podmínek A2/W55

3.4. Komponenty KTČ

Chladivový oběh, který je základem KTČ, se skládá ze čtyř hlavních částí, jsou jimi kompresor, výparník, kondenzátor a expanzní ventil.

3.4.1. Kompresor

Kompresory jsou v chladírenské terminologii přezdívány jako srdce tepelného čerpadla. Je to nejzákladnější komponenta TČ. Závisí na něm mnoho faktorů, jako topný výkon, COP, volba chladiva apod. Je zde požadována naprostá těsnost pracovního prostoru, aby stlačované chladivo neunikalo pryč do okolí. Pokud jde o vnikání vzduchu do kompresoru netěsnostmi, lze říci, že je tento problém odstraněn, pokud je vypařovací tlak nižší než tlak okolí. Druhů kompresorů je mnoho, avšak jejich stavba se liší v závislosti na požadavcích, provozu a údržbě TČ i kompresorů samotných.

Jako první se v chladírenství používaly kompresory pístové. Následně se začaly využívat rotační kompresory, a Scroll kompresory.

Nejčastěji jsou používány kompresory v hermetickém provedení - mají ve společné nádobě na společné hřídeli elektromotor i kompresor. Společná je v hermetickém provedení také olejová náplň. Jsou naprosto těsné a do kompresoru vede pouze sací a výtlačné potrubí.

Kromě hermetického provedení se používají ještě kompresory v polohermetickém a otevřeném provedení. U polohermetického provedení je kompresor a elektromotor uzavřeny v neprodyšném plášti. Ventily jsou ale přes těsná demontovatelná víka přístupné. U otevřeného provedení je hřídel vyvedena z klikové skříně přes ucpávku ke spojení s motorem. [1] [4]

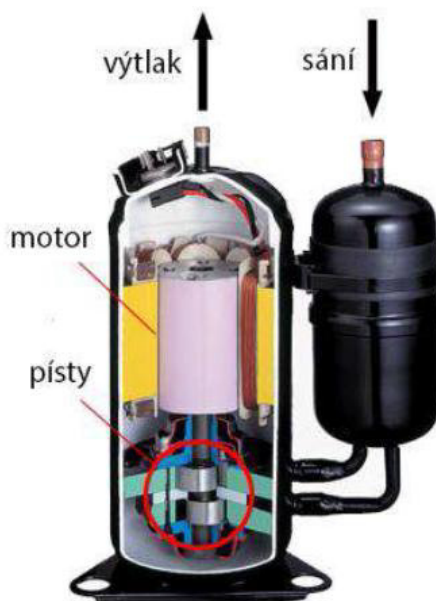
- **Pístový kompresor**
 - ke kompresi dochází přímočarým vratným pohybem
 - použití v chladničkách, u TČ se využívají zřídka
 - nevýhodou je, že vniknutí kapaliny do pracovního prostoru znamená smrt kompresoru, další nevýhodou je škodný prostor



Obr. 3.7 Hermetický pístový kompresor [1]

- **Rotační kompresory s kroužícím pístem**

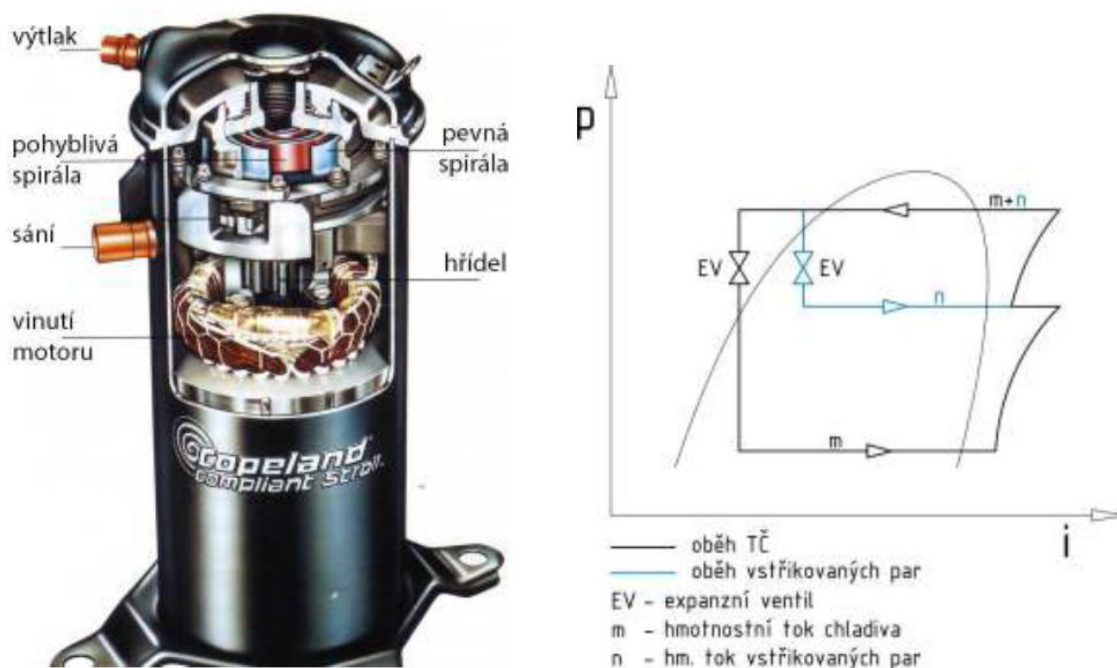
- Kompresi zajišťuje pohyb válcového tělesa po vnitřní obvodu válcové komory - pohyblivá přepážka pak odděluje sací a výtlačnou část komory
- v současné době se setkáváme s provedením za použití jednoho nebo dvou pístů
- dvoupístové provedení oproti jednopístovému je výhodnější - mírnější zátěž hlavní hřídele, tišší chod a menší vibrace



Obr. 3.8 Kompresor se dvěma krouživými písty

- **Scroll kompresor**

- v současnosti absolutně nepoužívanější typ kompresoru pro KTC
- kompresi způsobuje stlačování chladiva v mezispirálovém prostoru - prostor je tvořen dvěma spirálami - jedna je stacionární, druhá se excentricky pohybuje a chladivo se stlačuje ve stále užším prostoru až do středového výtlaku, kde stlačené chladivo opouští prostor v axiálním směru
- žádný škodný prostor, 100% dopravní účinnost - není zde náchylnost k nasání kapalného chladiva
- ON/OFF provedení - kompresor je buď vypnutý, nebo běží na 100% výkonu - je tak dosaženo výborné účinnosti kompresoru, avšak je zde limitována životnost počtem startů
- invertorové provedení umožňuje plynulou regulaci otáček - tím i výkon, díky tomu lze provozovat při nižším výkonu a tím snížit počet startů - zvýšení životnosti - to sebou ale také nese neefektivní pracovní oblast kompresoru a kolísání účinnosti
- účinnost se dá zvýšit za pomoci EVI (Enhanced Vapour Injection) technologie - v průběhu komprese jsou do mezispirálového prostoru vstříkovány chladné páry chladiva - snížení výtlačné teploty chladiva - umožňuje rozšíření pracovní oblasti, využití také pro podchlazení kondenzátu za kondenzátorem za pomoci ekonomizéru - zvýšení výkonu oběhu



Obr. 3.9 Scroll kompresor (vlevo) oběh s EVI technologií (vpravo) [1]

3.4.2. Výparník

Výparník je výměník tepla sloužící k odebrání tepla z venkovního vzduchu, za děje který se nazývá expanze - odpaření chladiva. Stavba výparníku musí odolávat chemickým vlivům chladiva, tlakům a korozi. Jedná se o rozměrově největší komponentu oběhu, protože na straně vzduchu jsou mnohem menší přestupy tepla než na straně chladiva - je třeba proto volit větší plochu výměníku.

U KTČ vzduch - voda se využívá lamelový výměník. Ten je sestaven z jedné, nebo více řad trubek, na kterých jsou lamely - ty slouží jako žebra trubek. Před vstupem mokré páry do výparníků je zde řazen distributor kapalného chladiva, který je součástí dodávky výparníku. Tento distributor rozvádí kapalně chladivo do jednotlivých trubkových sekcí výparníku (po jeho výšce) pro dosažení rovnoměrného průtoku chladiva ve všech sekcích. Na výstupu pak jsou trubkové sekce spojeny do jedné trubky o větším průměru - to je kvůli nárůstu objemu pracovní látky díky fázové změně chladiva. Materiál trubek - měď, materiál lamel - hliník.

Výměník s lamelami je definován těmito parametry:

- počet trubkových řad - hloubka výměníku
- počet trubek v řadě - výška výměníku
- délka výměníku
- počet vstřiků chladiva
- rozteč lamel



Obr. 3.10 Lamelový výměník tepla [1]

3.4.3. Kondenzátor

Kondenzátor je tepelný výměník sloužící k odebrání tepla chladivu a předávání tohoto tepla topnému médiu - vodě. Je zapotřebí, aby zde docházelo k podchlazení zkondenzovaného chladiva za účelem eliminace bublin - větší stabilita okruhu

U KTC vzduch voda se používají deskové výměníky - nejčastěji v protiproudém směru chladiva a vody. Mezi jeho nesporné výhody patří vysoká účinnost a poměrně malé rozměry. Snesou vysoké tlaky, dobře se izolují a jsou chemicky odolné. Mezi nevýhody patří časté zanášení mezideskových prostor a vyšší tlakové ztráty. Na výběr je mezi rozebíratelným (šroubovaným) provedením, který se lépe čistí na úkor nutnosti těsnění a nerozebíratelným (pájeným) provedením. Materiál desek je většinou z nerezové oceli, občas se volí titan.



Obr.3.11 Deskový kondenzátor[1]

3.4.4. Expanzní ventil

Expanzní ventil slouží k distribuci správného množství chladiva do výparníku z důvodu zajištění jeho optimálního provozního režimu. Další důležitou funkcí EV je zajištění poklesu tlaku a teploty chladiva a zároveň převedení kapalně fáze do fáze mokré páry. Díky regulaci tlaku EV přímo ovlivňuje výparnou a kondenzační teplotu chladiva v oběhu a zejména, pro správnou funkci důležité, přehřátí chladiva ve výparníku.

- **Termostatický expanzní ventil (TEV)**

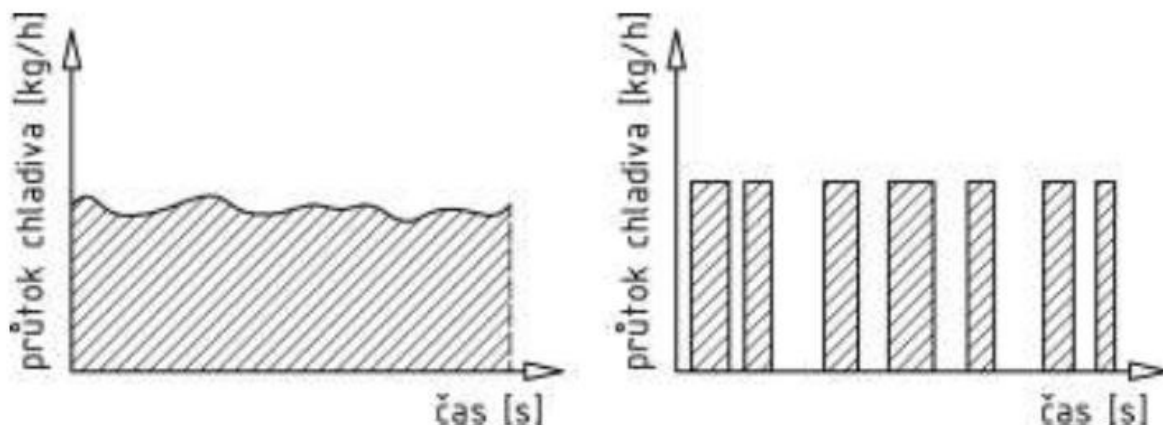
Termostatický expanzní ventil je spojen s tykavkou, ta je připáskována k výstupnímu potrubí výparníku. Podle teploty potrubí je plyn v tykavce pod různým tlakem a ten je kapilárou přenášen do TEV. Termostatický expanzní ventil bývá seřízen na garantovaný výkon v kW/h. To znamená, že za konstantního tlaku propustí takové množství chladiva, které je schopno přepravit požadovaný tepelný výkon. Toto množství chladiva musí také za stejnou časovou jednotku stlačit kompresor a výparník s kondenzátorem mu musí předat a odebrat tepelnou energii. Jedná se o tzv. vyvážený systém. Porušením rovnovážnosti, například změnou teplot na výparníku, ovlivníme chod celého systému. [4]

- **Elektronický expanzní ventil (EEV)**

Elektronické expanzní ventily fungují tak, že tryska je ovládána servopohonem. Na rozdíl od termostatických EV je u EEV místo tykavky teplotní a tlakové čidlo - obě čidla jsou umístěna jak na vstupu tak na výstupu do výparníku. Hodnoty z těchto čidel jsou posílány do elektronické řídicí jednotky, která tyto hodnoty přečte, zpracuje a v reálném čase nastaví nejvhodnější stupeň otevření ventilu.

U EEV se pro vytvoření proměnného průtoku využívá proporcionální typ řízení - ten plynule reguluje zdvih jehly nebo jinou pohyblivou část - tím mění průtok chladiva. U impulsního typu řízení EEV pracuje s polohami plného otevření nebo uzavření a průtok je pak ovlivňován časovými intervaly.

Jedná se o moderní, hojně se využívající typ EV. Jeho nespornou výhodou oproti TEV je kompatibilita se širokou škálou chladiv, je zde velký regulační rozsah výkonu EV a tento typ také disponuje přesností v modulaci průtoku chladiva a mikroprocesorového řízení. [1]



Obr. 3.12 Proportionální (vlevo), impulsní (vpravo) charakteristika EEV [1]

3.5. Konstrukce KTČ

3.5.1. Kompaktní jednotky

Kompaktní jednotky tepelných čerpadel mají veškeré chladivové komponenty v uzavřené v jedné skříni. Tyto skříně jsou vyráběny buď pro venkovní nebo pro vnitřní provedení. Oboje se hojně využívá. Venkovní jednotky lze umístit například na střechu - musí se k nim přivést rozvody topné vody, ale je zde vyřešen velmi dobrý přístup vzduchu. Je třeba také brát v úvahu hluk, který jednotka vydává. Vnitřní provedení, např. ve strojovně má naproti tomu jednoduché napojení rozvodů topné vody, zato je potřeba dobře zvolit přísun čerstvého vzduchu.

3.5.2. Split jednotky

Tyto jednotky na rozdíl od kompaktních jednotek sestávají ze dvou oddělených jednotek. Jedna sestává z kondenzátoru - vnitřní jednotka a druhá obsahuje výparník. Obě jednotky jsou spojeny chladivovým potrubím. Kompresor se dá umístit jak do venkovní, tak do vnitřní jednotky - při umístění do venkovní jednotky je potřeba počítat s generovaným hlukem. [1]

4. TEPELNÁ ČERPADLA PRO BYTOVÉ DOMY

4.1. Výhody TČ jako zdroje tepla pro bytové domy

- možnost výrazného ušetření nákladů za vytápění
- TČ není závislé na dodávkách topného média (uhlí, plyn, topný olej, biomasa)
- nejsou zde problémy se skladováním topného média (uhlí, biomasa)
- problém s pravidelností dodávek také odpadá (zamrzlé vagony s uhlím, krize s dodávkami plynu, biomasy)
- neřešíme tato rizika
 - plyn (výbuch, otrava)
 - uhlí (samovznícení, otrava)
 - olej (riziko požárů)
- TČ je forma využití obnovitelných zdrojů energie, tím pádem je zde velký potenciál do budoucna

4.2. Aplikace TČ pro bytové domy

Tepelná čerpadla pro bytové domy se v ČR už nějakou dobu používají. Budou zde popsány vybrané aplikace z důvěryhodných zdrojů. Z nějakých důvodů na webu nejsou příliš dohledatelné technické specifikace (jako druh použitého chladiva, apod.) TČ pro bytové domy. Jsou tedy vždy uvedeny původní ceny tepla a poté je popsáno jak hodně se TČ vyplatilo pořídit.

- **Bytový dům v Kostelci nad Černými lesy**

Firma AC Heating nainstalovala TČ pro bytový dům pro tento objekt v roce 2012. Uvádí, že:

Dům má 1 vchod, 3 podlaží a 7 bytů. Je zateplen a má vyměněná okna. Obytná plocha je cca 440 m². V objektu je instalována kaskáda tepelných čerpadel vzduch-voda s plynulou regulací výkonu o celkovém výkonu 40 kW. Doplnkovým zdrojem je elektrický kotel. Zdroj tepla je využíván pro vytápění i ohřev užitkové vody.

- Před privatizací bytů do roku 2005 byla průměrná roční spotřeba 270 GJ za vytápění (0,61 GJ/m²) a 110 GJ na ohřev užitkové vody
- Zateplením v roce 2008 klesla spotřeba tepla na vytápění na 154 GJ (0,35 GJ/m²)
- Po instalaci tepelných čerpadel v roce 2012 byla spotřeba tepla za uplynulou topnou sezonu 131 GJ (0,30 GJ/m²) a 71 GJ na ohřev užitkové vody
- Celková úspora přechodem na nízkoteplotní zdroj tepla s ekvitermní regulací je 62 GJ

Náklady na vytápění a ohřev užitkové vody za rok 2013:

- Spotřeba tepla na vytápění: 154 GJ
- Spotřeba tepla na ohřev užitkové vody: 71 GJ
- Cena GJ: 341 Kč (vč. DPH 21 % a poplatku za rezervovaný příkon 3×50 A)
- Celková cena za elektrickou energii za vytápění a TUV: **69.001,- Kč**
- Průměrný topný faktor: 2,53 (zahrnuje celkovou spotřebu elektrické energie kotleny – tepelná čerpadla, bivalentní elektrokotel, sanitace zásobníků TUV, oběhová čerpadla, světlo)
- Měrná potřeba tepla na vytápění: 0,30 GJ/m²
- Měrné náklady na vytápění: 101,70 Kč/m²
- Měrné náklady na ohřev užitkové vody: 66,88 Kč/m³ (se započtením ceny složky studené vody celkem 145,79 Kč/m³)

Cena tepla z CZT byla v roce 2013 v Kostelci nad Černými lesy 943,- Kč/ GJ na vytápění a 805,- Kč/GJ na ohřev užitkové vody. Při spotřebě 154 GJ na vytápění a 110 GJ na ohřev užitkové vody by celková roční platba za teplo byla 233.772,- Kč. Z toho je možné vyčíslit úsporu 164.771,- Kč. Dnes stojí obyvatelé domu teplo cca **30 %** původních nákladů. Po započítání nákladů spojených s úvěrem je to cca **50 %** původních nákladů na vytápění a ohřev užitkové vody. Pro jednu bytovou jednotku je průměrná cena za spotřebované teplo 9.857,- Kč [10]

- **Bytový dům v Kladně, AC Heatings**

Objekt má 6 podlaží a 17 bytů. Je nezateplen a má vyměněná okna jsou jen u části bytů. Obytná plocha je cca 920 m². V objektu je instalována kaskáda tepelných čerpadel vzduch-voda s plynulou regulací výkonu o celkovém výkonu 56 kW. Doplnkovým zdrojem je plynový kotel. Zdroj tepla je využíván pro vytápění i ohřev užitkové vody.

V období od listopadu 2012 do listopadu 2013 bylo spotřebováno 63 697 kWh elektrické energie a 1860 m³ zemního plynu. Celkové náklady na vytápění a ohřev užitkové vody činily v tomto období 200.260,- Kč za elektrickou energii a 39.568,- Kč za plyn. Nutno podotknout, že tento objekt odebíral elektrickou energii v podnikatelské sazbě „C“, která je méně výhodná. Nyní má již sazbu D56d.

Původní cena za teplo byla 400.000,- Kč/rok za vytápění a ohřev užitkové vody. To představovalo na jednu bytovou jednotku v průměru 23.530,- Kč. V současné době zaplatí v průměru 14.107,- Kč

Na rozdíl od předchozích dvou případů, protože dům zatím neprovedl revitalizaci, je zde použitý plynový kotel, který vypomáhá tepelným čerpadlům již při teplotách kolem -5 °C. Proto je tento objekt energeticky náročnější. Ohřev užitkové vody celoročně zajišťují tepelná čerpadla. [10]

Z těchto příkladů reálných aplikací vyplývá, že se skutečně jedná o perspektivní trh.

5. NÁVRH TČ VZDUCH - VODA PRO BYTOVÉ DOMY

5.1. Společnost AISECO spol. s.r.o.

Firma AISECO spol. s.r.o. působí na českém trhu od roku 2006. Zabývá se dodávkami, prodejem, instalací a servisem klimatizací, vzduchotechniky, rekuperací, tepelných čerpadel, chlazení a fotovoltaických elektráren.

Vedení společnosti se již dlouhodobě zabývá myšlenkou tepelného čerpadla pro bytové domy. Jedná se o perspektivní směřování, ve kterém může být zajímavá budoucnost. Náklady na vytápění u bytových domů se rok od roku zvyšují, čím dále více roste popularita využívání obnovitelných zdrojů energie a trh s tepelnými čerpadly v naší zemi pravděpodobně teprve čeká na skutečné využití.

Průměrná cena tepla v ČR za rok 2011 (vážený průměr ze všech zdrojů) činila 538 ,- Kč za 1 GJ tepla. Náklady na vytápění a ohřev TUV u bytových domů napojených na CZT se mohou v budoucnu vyšplhat i na 1000 ,-Kč za 1 GJ tepla, přičemž výroba stejného množství tepla pomocí tepelného čerpadla stojí přibližně 250 - 300 ,-Kč. [11]

Společnost AISECO spol. s.r.o. má tedy za cíl jít cestou moderního a perspektivního směru, cestou úspor jak pro životní prostředí, tak pro koncového zákazníka.

Základní myšlenka spočívá v návrhu univerzální kompaktní jednotky pro bytové domy, která bude schopna zajistit základní funkce (vytápění, ohřev TUV) pro bytové domy. Tato jednotka bude pod značkou AISECO spol. s.r.o.

5.2. Základní požadavky pro návrh konceptu

Zadání od vedení společnosti AISECO:

- kompaktní TČ vzduch - voda určený pro vytápění a ohřev TUV
- výkon - parametry 15 kW topný výkon při A2/W55
- stavebnicové provedení - možnost zapojení více jednotek do kaskády - stupňovitá regulace, dle okamžité potřeby tepla
- vnitřní provedení (strojovna), jednotka musí splňovat rozměry, aby prošla dveřmi
- nízká hlučnost (40 - 50 dB naměřených u okna)
- inovativnost - volba moderního přírodního chladiva
- co nejvyšší COP

Jelikož TČ bude v provozu celou sezonu (zima - vytápění a ohřev TUV, léto - jen ohřev TUV), je třeba počítat s tím, že v zimních měsících bude docházet na lamelách výparníku k zamrznání vody zkondenzované ze vzduchu (uvažujeme teploty 3°C a nižší). Pro to je tedy třeba vhodně zvolit systém odmrazování výparníku. V tomto případě půjde o systém reverzace chladivového oběhu. Při teplotách nad 3°C bude postupné zamrznání lamel řešeno pomocí doběhu ventilátoru (nucený proud "teplého vzduchu" urychlí odtávání ledu).

5.3. Volba chladiva

Jedno z nejdůležitějších rozhodnutí při návrhu tepelného čerpadla je volba pracovního média - chladiva. Chladivo se volí jako první, protože na jeho návrhu závisí volba kompresoru a následně ostatních komponent. To je dáno faktem, že většina důležitých komponent (kompresor, expanzní ventil) je optimalizována přímo na daný typ chladiva.

Firma Aiseco spol. s.r.o. vznesla požadavek na inovativnost jednotky. Volba chladiva má zcela zásadní dopad na celý návrh. Inovativní chladivo je chladivo přírodní. Evropské směrnice kladou důraz na co nejnížší GWP, tedy potenciál globálního oteplování. Následující Tab. 5.1 jasně potvrzuje a stanovuje tento trend.

Výrobky a zařízení	Datum zákazu
Chladicí a mrazicí zařízení pro domácnost s HFC s GWP 150 a vyšším	1.1.2015
Chladicí a mrazicí zařízení pro komerční použití (hermeticky uzavřená) s HFC s GWP 2500 a vyšším	1.1.2020
s HCF s GWP 150 a vyšším	1.1.2022
Stacionární chladicí zařízení s GWP 2500 a vyšším, jehož provoz je na těchto plynech závislý s výjimkou zařízení určeného pro chlazení pod -50 °C	1.1.2020
Sdružené centrální chladicí systémy pro komerční použití s výkonem vyšším než 40 kW a chladivem s GWP vyšším než 150, s výjimkou primárního okruhu kaskádních zařízení, kde je povoleno GWP do 1500	1.1.2022
Pokoje klimatizační zařízení (pro přemísťování mezi místnostmi), s chladivem s GWP 150 nebo vyšším	1.1.2020
Dělené klimatizační jednotky s vnitřní jednotkou s náplní menší než 3 kg chladiva s GWP 750 a vyšším	1.1.2025

Tab. 5.1 - Časová omezení uvádění zařízení na trh Evropské unie pro jednotlivé kategorie výrobků [12]

5.3.1. R32

Původní myšlenka byla zvolit chladivo R32. Toto chladivo je poměrně inovativní. Spadá do třídy hořlavosti A2 (středně hořlavé), proto by bylo nutné brát v úvahu normu ČSN EN 378, která reguluje množství chladiva v daném chladicím okruhu, případně říká, jak velká musí být plocha místnosti na množství nějakým způsobem nebezpečného chladiva (toxicita, hořlavost).

R32, neboli difluormetan s chemickým označením CH_2F_2 se používá hlavně u malých klimatizačních aplikací. Jeho GWP je rovno hodnotě 675. Jde o chladivo s dobrými termodynamickými vlastnostmi a byl by to dobrý kandidát pro naši aplikaci. Ukázalo se však, že na trhu ještě nejsou R32 kompresory a komponenty, které by měly dostatečně vysoké parametry, jenž jsou stanoveny na 15 kW topného výkonu při A2/W55. Je to dáno hlavně díky tomu, že jde o chladivo poměrně nové a zatím příliš nepoužívané.

5.3.2. R290

Volba chladiva nakonec padla na R290 - propan. Jedná se o moderní přírodní chladivo, které má mnoho výhod a dobrých vlastností. Největším plusem je nízké GWP, které je rovno hodnotě 3. Samotný propan je také levný, jeho chemické složení je na rozdíl od HCF chladiv jednoduché (není namíchán z nejrůznějších kombinací chemických látek, ale má jednoduchou chemickou vazbu složenou z uhlovodíků - $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$) a v neposlední řadě má vyhovující termodynamické vlastnosti, včetně tlaků, které se pohybují v rozumných hodnotách. Při porovnání chladiva R290 s chladivy R22 a R134a dojdeme k tomu, že propan má menší hustotu - to má za následek snížení náplně chladiva o 40% oproti zmíněným tradičním chladivům. Zároveň má R290 nižší výtláčné teploty v porovnání s HFC/HCFC, což zvyšuje spolehlivost systému. Komponenty pro propanové chladivo se ve světě již vyrábí a používají. V ČR zatím není příliš mnoho fungujících aplikací na bázi R290.

Nevýhodou tohoto média je jeho stupeň hořlavosti - A3 - neboli vysoce hořlavý. Při úniku chladiva do okolí tepelného čerpadla může dojít k zapálení směsi chladiva a vzduchu,

což může mít za následek poničení TČ, případně může vzniknout požár. Norma ČSN EN 378 proto omezuje množství náplně chladiva v okruhu, případně stanovuje minimální velikost plochy místnosti, ve které je jednotka umístěna.

Norma nám v příloze C.3.4 říká:

Chladivový okruh je opatřen samostatnou skříní, která není spojena s prostorem. Skříň zařízení musí mít ventilační zařízení, které vytváří proudění vzduchu z vnitřku zařízení na vnější stranu pomocí vzduchovodů. Zařízení s nuceně větranými skříněmi mohou být provozovány s chladivy kategorií A2 nebo A3. Maximální množství náplně pro tato zařízení nesmí překročit:

$$m_{\max} = 130 * LFL \quad \text{Rov. 5.1}$$

kde je

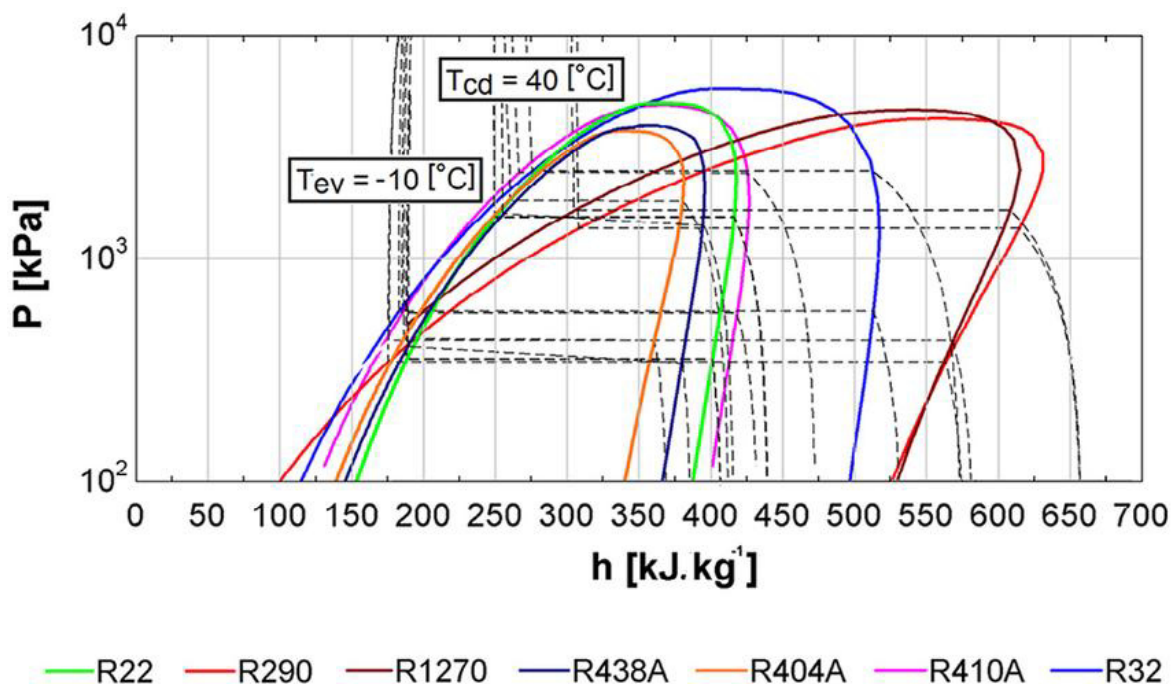
m_{\max} dovolené maximální množství náplně v kg;

LFL dolní mez hořlavosti ($LFL_{R290} = 0,038 \text{ kg/m}^3$).

$$m_{\max} = 130 * 0,038 = \mathbf{4,94 \text{ kg}}$$

Množství náplně pro jednotku na bázi chladiva R290 by neměla překročit 4,94 kg, přičemž jednotka musí být kompaktní (uzavřená v jedné skříní) a vstup a výstup venkovního vzduchu do jednotky umístěné uvnitř místnosti je proveden pomocí vzduchotechnického potrubí. Do této hodnoty je nutno se v návrhu dostat.

Elektrické části, jako kompresor, expanzní ventil, nebo presostat by měli být v tzv. Ex, nevýbušném provedení (při sepnutí elektrické spojení "nehodí jiskru" a nezapálí uniklý propan). Detektor úniku propanu je samozřejmostí - při detekci úniku hlásí chybu a jednotka se nespustí. Ventilátor v Ex provedení odvětrá hořlavinu z místnosti do venkovního prostoru. Celý okruh musí být také v hermetickém provedení.



Obr. 5.1 Porovnání p-h diagramů různých druhů chladiv[13]

5.4. Návrh komponent TČ

Po nejdůležitější volbě - volbě chladiva - je třeba navrhnout základní komponenty chladivového okruhu. Jsou jimi kompresor, výparník, kondenzátor a expanzní ventil.

Kompresor a expanzní ventil byly zvoleny pomocí softwaru Select 7.11 od společnosti COPELAND a výpočty byly provedeny v softwarech MS Excel a Coolpack. Kondenzátor byl navržen pomocí SSP G7 od společnosti SWEP a výparník pomocí OemBat od společnosti LLOYD COILS EUROPE.

5.4.1. Volba kompresoru

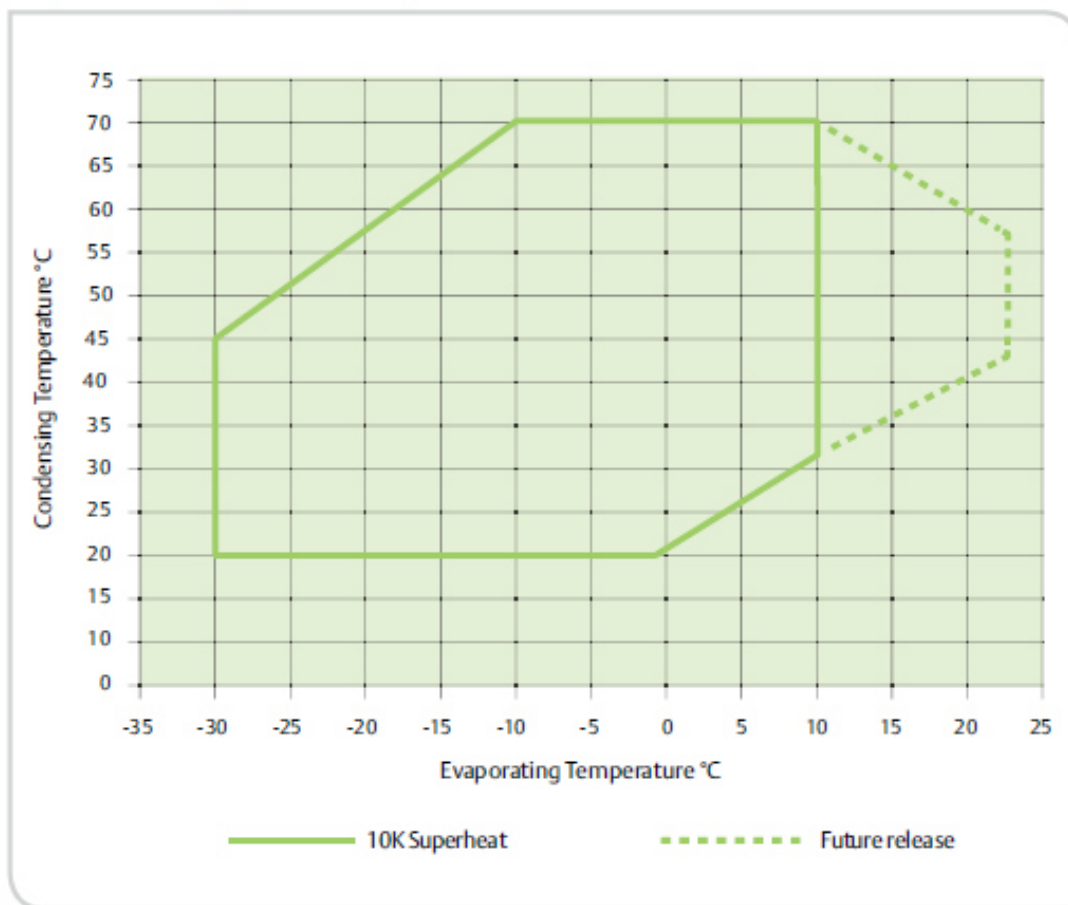
Volba kompresoru závisí na potřebném topném výkonu daného chladivového okruhu. V našem případě jde o topný výkon 15 kW při A2/W55. Výběr této komponenty byl řízen poměrně úzkou škálou sortimentu na trhu a omezujícími hodnotami výkonu - ve verzi R290 jsou na trhu zatím pouze kompresory s poměrně malými výkony, zejména kvůli hořlavosti a omezení normou. Typ voleného kompresoru - Scroll kompresor. Jednou z výhod tohoto kompresoru a chladiva jsou nadstandardní termodynamické vlastnosti, díky kterým není třeba používat EVI technologii a i přesto získáme dostačující pracovní rozsah.

Jedním z největších dodavatelů kompresorů pro chladivové okruhy je společnost COPELAND, patřící pod velkou společnost chladicí techniky EMERSON Climate Technologies. Volba kompresoru tedy směřovala již od začátku k tomuto výrobcí. Typ a označení vybraného kompresoru je ZH16 KCU. Označení ZH značí kompresor určený pro vytápění - tepelná čerpadla. Obdobou zvoleného ZH16 KCU je ZB49KCU. Jedná se o kompresor s prakticky stejnými termodynamickými a výkonovými vlastnostmi. Označení ZB říká, že se jedná o kompresor určený především pro chlazení. Výpočty tedy vychází z vlastností a tabulek pro ZH16 KCU, hodnoty které však pro tento kompresor nebyly k dohledání (jedná se o typ, který ještě není oficiálně uveden na trh), byly nahrazeny hodnotami pro kompresor typu ZB49KCU.

COPELAND ve svém produktovém průvodci pro chladivo R290 v kapitole pro kompresory ZH uvádí:

- Axiální a radiální dostupnost
- Speciální olej pro propan
- Shoda s ATEX (Ex, ochranné provedení)
- IP65 (IEC 60529)
- Žádné průhledové sklo
- Hermetický kompresor
- Široký operační rozsah (envelope)

Operating Envelope R290

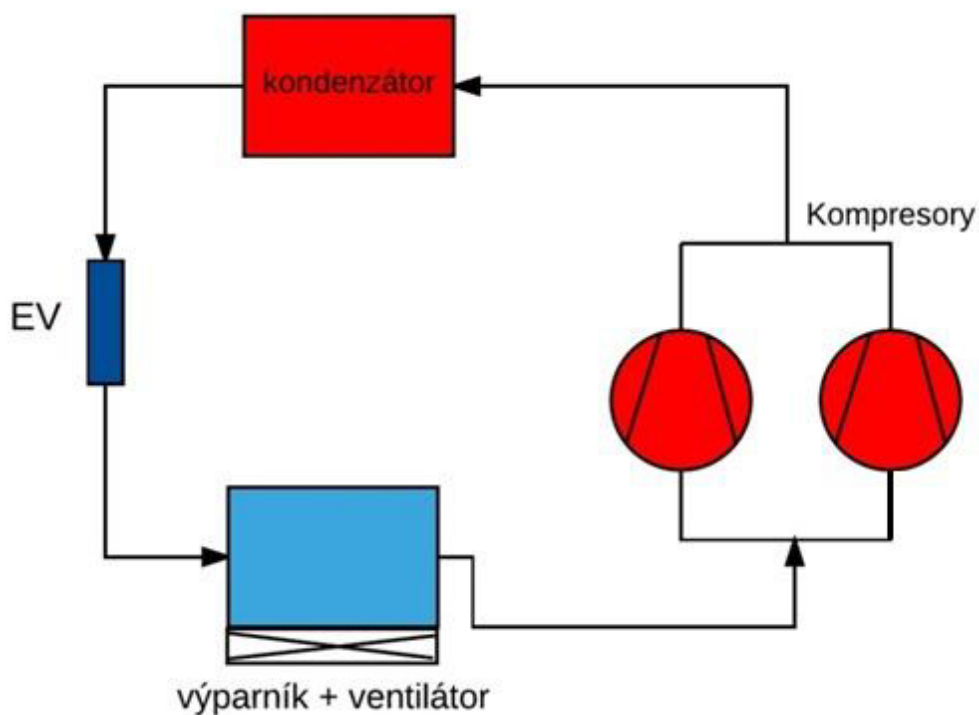


Obr. 5.2 Operační rozsah R290 kompresorů třídy ZH [14]

ZH16 KCU je tzv. ON/OFF kompresor, bez invertorového elektromotoru. Tento fakt má za následek, že kompresor pracuje vždy v optimálním režimu a jeho účinnost je nejvyšší možná. Na druhou stranu nelze plynule regulovat jeho příkon, tím pádem i topný výkon. Zároveň je omezena životnost kompresoru, která vychází z počtu startů. Invertorové provedení propanových kompresorů má společnost COPELAND v plánu také uvést na trh.

Pro dosažení stupňovité regulace výkonu je potřeba provést zapojení dvou stejných tepelných čerpadel do kaskády. Toto zapojení bude uvedeno dále v kapitole zabývající s kaskádovitým provozem TČ.

Zapojení dvou kompresorů do paralelního tandemu není možné, kvůli omezení náplně chladiwa, které vychází z normy. Chladiwa by v takovém případě cirkulovalo v oběhu dvojnásobné množství, kvůli přibližně dvojnásobným rozměrům výparníku a kondenzátoru. Toto zapojení by vypadalo následovně:



Obr. 5.3 Tandemové zapojení kompresorů, které není možné z hlediska omezení množství chladiva určené normou ČSN EN 378

Parametry pro jeden kompresor ZH16 KCU za podmínek A2/W55:

Označení kompresoru	ZH16 KCU	
Veličina	Jednotka	Hodnota
Topný výkon - předávaný topné vodě	[kW]	15,49
Chladicí výkon - odebíraný vzduchu	[kW]	10,4
Příkon	[kW]	5,526
Tlak na sání	[bar]	3,96
Tlak na výtlačku	[bar]	20,16
Hmotnostní tok chladiva v okruhu	[g/s]	44,7
Izoentropická účinnost kompresoru	[%]	66

Tab. 5.2 Parametry kompresoru ZH16 KCU při A2/W55

Z tabulky je zřejmé, že tento kompresor splňuje požadavky ze zadání a přesahuje potřebný topný výkon 15 kW při venkovní teplotě vzduchu 2°C a teplotě topné vody 55°C.

5.4.2. Návrh výparníku

Výparník, nebo také sběrač tepla z okolního vzduchu, je dimenzován v úzké spojitosti s kompresorem. Výparník musí být nadimenzován tak, aby předával při konkrétních provozních podmínkách specifické množství tepla do chladiva - tím bude zajištěna optimální činnost oběhu.

Pro návrh výparníku na bázi chladiva R290 byl použit software OemBat společnosti LLOYD, která se zabývá konstrukcí a výrobou výměníků. Návrh probíhal zdlouhavě, jelikož změna jednoho parametru v softwarovém návrhu ovlivní ostatní vlastnosti výparníku.

Rozměrové omezení zde příliš velkou roli nehraje, protože kompaktní jednotka se musí vejít do dveří, tzn. že tloušťka jednotky by neměla přesáhnout 800 mm. Tloušťka výměníku nepřekročí 200 mm.

Požadavek je na co nejnižší tlakové ztráty jak na straně chladiva, tak na straně vzduchu. Při zvolení větších rozměrů délky a výšky toto nebude problém.

Výparník musí být schopen pojmout konkrétní množství chladicího výkonu ze vzduchu. Pro případ z Tab. 5.2 vyplývá, že při podmínkách A2/W55 musí výměník mít dostatečný výkon, aby odebral 10,4 kW ze vzduchu. Chladicí výkon se přirozeně mění s teplotami venkovního vzduchu a teplotami topné vody. Proto je potřeba najít rovnováhu v návrhu, aby výměník byl schopen pokrýt nejrůznější podmínky.

Výměník byl tedy navržen s těmito parametry:

3x24x960-9		
Provedení	jednotka	hodnota
Počet trubek/hloubka výparníku	[-/mm]	3/150
Počet řad trubek v řadě/výška výparníku	[-/mm]	24/960
Délka výparníku	[mm]	960
Počet vstříků - trubkových sekcí	[-]	9
Rozteč lamel	[mm]	3
Materiál lamel	[-]	hladký hydrofilní hliník

Tab. 5.3 Navržený výměník

Takto navržený výměník má za podmínek A2/W55 (vypařovací teplota $t_E = -6^\circ\text{C}$, kondenzační teplota $t_C = 58^\circ\text{C}$) a průtoku vzduchu $3500 \text{ m}^3/\text{hod}$ tyto vyhovující vlastnosti:

- Chladicí výkon za předpokladu mokrého povrchu lamel 13,4 kW
- Chladicí výkon za předpokladu zamrzlého povrchu lamel 10,8 kW
- Tlakový ztráta na straně chladiva 17,5 kPa
- tlaková ztráta na straně vzduchu 5 Pa

5.4.3. Volba ventilátoru

Ventilátor je v tomto návrhu zcela nezbytnou podmínkou. Zajišťuje potřebný průtok vzduchu přes výparník a zároveň jeho přítomnost je vynucena přímo normou ČSN EN 378, v příloze zabývající se hořlavými chladivými, kam patří R290.

Ventilátor se nachází ve skříni tepelného čerpadla na straně výstupu vzduchu za výparníkem. Vzhledem k čtvercovému provedení výparníku (960 x 960 x 150 mm) je třeba brát v úvahu omezení rozměrem. To však v tomto návrhu není problém, protože maximální potřebný objemový průtok nepřekračuje 9000 m³/hod. Ventilátory s průměrem např. 710 mm této hodnoty průtoku běžně dosahují. Díky velkým rozměrům výparníku lze navrhnout ventilátor, který pokryje poměrně malé tlakové ztráty.

Samozřejmě by mělo být EC provedení ventilátoru pro plynulé regulování otáček motoru, dle okamžité potřeby.

Otázka Ex provedení v případě ventilátoru pro distribuci vzduchu je v tomto návrhu vyřešena dle požadavku firmy AISECO spol. s.r.o. Ventilátory nejsou v Ex provedení. V jednotce je místo toho detektor úniku chladiva, který v případě detekce nahlásí chybu, jednotka nebude mít povolení ke spuštění - nevznikne zde žádná jiskra, která by zapálila hořlavou směs. Zároveň v místnosti je umístěn vhodný ventilátor v Ex provedení, který hořlavou směs odvětrá pryč z místnosti.

Volba ventilátoru připadla na zařízení od německé společnosti EBM PAPST, která je světovým výrobcem ventilátorů. Zvolen byl axiální ventilátor pod označením A6D630 - AN01-01.



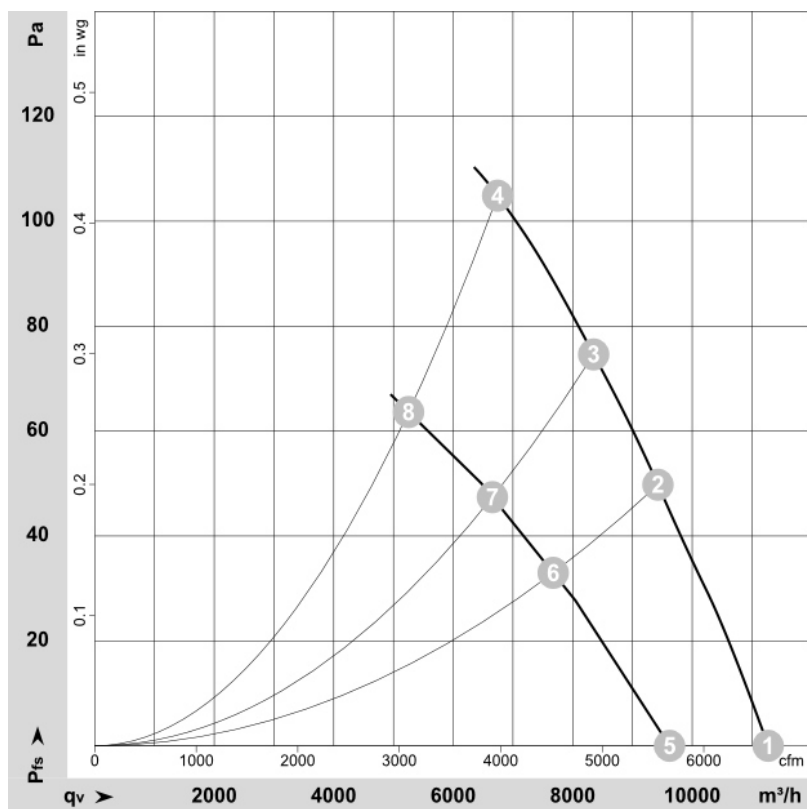
Obr. 5.4 Ventilátor A6D630-AN01-01[15]

Jedná se o ventilátor v třífázovém provedení při napětí 400V a frekvenci 50 Hz. Splňuje všechny výše uvedené podmínky, navíc má také štítek GreenTech, který říká, že se jedná o provedení šetřící energii.

Označení ventilátoru	A6D630-AN01-01	
Průměr rotoru	[mm]	630
Počet použitých ventilátorů v TČ	1	
Veličina	jednotka	hodnota
Objemový průtok	[m ³ /hod]	7515
Otáčky	[1/min]	890
Celkový distribuční tlak	[Pa]	92
Příkon	[W]	600
Hladina akustického výkonu na výtlaku	[dB]	61

Tab. 5.4 Parametry ventilátoru [15]

Při průtoku vzduchu na takto vysoké úrovni (7515 m³/hod) má ventilátor poměrně vysokou hlučnost. V těchto hladinách se však ventilátor téměř nebude pohybovat - odhad běžné provozní hladiny akustického výkonu ventilátoru je cca 30 - 40 dB. Jednotka je navíc vybavena protihlukovou izolací, výtláčné potrubí z místnosti taktéž.



	n	P _e	I	LpA _{in}
	in min ⁻¹	in W	in A	in dB(A)
1	928	439	1,07	64
2	906	532	1,15	59
3	895	574	1,19	59
4	890	600	1,2	61
5	788	319	0,56	59
6	728	365	0,63	55
7	705	385	0,66	53
8	690	400	0,68	55

Obr. 5.5 Charakteristika ventilátoru A6D630 - AN01-01[15]

5.4.4. Volba kondenzátoru

Kondenzátor je výměník tepla, který předává tepelnou energii z chladiva do topné vody. Pro použití v tomto návrhu TČ pro bytové domy byl volen koncept pájených deskových výměníků společnosti SWEP. Za použití softwarů byl zvolen výměník s označením B80Hx24/1P s parametry viz Tab. 5.5.

Označení kondenzátoru		B80Hx24/1P	
Veličina		jednotka	hodnota
Chladivo	Qh kondenzátor	kW	15,49
	Teplota chladiva vstup	°C	81,7
	Teplota chladiva výstup	°C	53
	Tc kond tepl	°C	58
	Podchlazení	K	5
	Hmotnostní tok chladiva	g/s	44,7
Topná voda	Teplota topné vody vstup	°C	45
	Teplota topné vody výstup	°C	55
	Hmotnostní tok topné vody	kg/s	0,39
Název		Označení	Hodnota
Konstrukce	Počet desek	-	24
	Materiál desek	SC	Nerezová ocel
	Materiál pájky		Měď
	Tlaková třída	M	Střední (38-48 bar)

Tab. 5.5 Parametry kondenzátoru použitého v návrhu při A2/W55

5.4.5. Volba expanzního ventilu

Expanzní ventil slouží k distribuci správného množství chladiva do výparníků pro jejich optimální provoz. V návrhu byl expanzní ventil vybírán podle produktového průvodce pro chladivo R290.

Elektronický expanzní ventil má dle průvodce mnoho zajímavých vlastností, mezi nimi jsou:

- Plně hermetické provedení
- Bi - flow verze s možností uzavření v obou směrech toku
- Funkce vypnutí - eliminuje použití dalšího solenoidového ventilu
- Lineární průtok
- Široký rozsah výkonu (10...100%)
- Korozivzdorné nerezové těleso a přípojky
- Ex provedení

Pro řízení EEV (elektronického expanzního ventilu) je použita řídicí jednotka EXD - SH1/2 Controller. Ta umožňuje hospodárný provoz zařízení při proměnné zátěži.



*Obr. 5.6 EEV pro R290 s označením EX4-...FLR
Řídicí jednotka EXD-SH1/2 Controller[14]*

Distribuce chladiva expanzním ventilem je závislá na aktuálním chladicím výkonu, který se mění s vypařovací a kondenzační teplotou chladiva. Podle produktového průvodce bylo na výběr mezi dvěma možnostmi a to mezi typem EX5-U31 FLR (vyšší výkony EEV) nebo typem EX4-U31 FLR (nižší výkony EEV). Je také potřeba brát zřetel na odmrazování výparníku, tedy na reverzaci chodu zařízení pomocí čtyřcestného ventilu. Z tohoto důvodu byl zvolen Bi-flow (obousměrný) EEV řady EX..-U31. [14]

Pro správné zvolení bylo zapotřebí provést výpočty pro získání informací o využitelnosti pracovního rozsahu daného EEV, viz tabulka 5.5

Expanzní ventil EX4-U31FLR												
Výkon expanzního ventilu QEV [kW] / Poměrné zatížení K=QCH/QEV [%]												
Kond. teplot a tc [°C]	Vypařovací teplota te [°C]											
	-25		-10		-5		0		10		15	
	QEV	K	QEV	K	QEV	K	QEV	K	QEV	K	QEV	K
	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[kW]	[%]
30	17,10	37,72	16,20	73,77	15,70	91,53	14,90	115,0	12,30	193,7	10,30	270,1
35	17,60	29,55	17,10	58,48	16,70	72,46	16,10	90,1	14,20	143,7	12,80	187,0
50	18,00	26,44	18,40	50,43	18,30	61,64	18,10	74,92	17,50	109,5	16,90	133,3
55	17,80	21,69	18,30	42,62	18,40	51,90	18,30	63,22	17,90	92,5	17,50	111,8
65	16,70	0,00	17,70	0,00	17,90	0,00	18,00	0,00	18,00	0,00	17,90	0,0
Chladicí výkon QCH												
Kond. Teplot a tc [°C]	Vypařovací teplota te[°C]											
	-25		-10		-5		0		10		15	
30	6,83		12,6		15,05		17,91		24,9		29	
35	6,45		11,95		14,37		17,13		23,82		27,82	
50	5,2		10		12,1		14,51		20,4		23,93	
55	4,76		9,28		11,28		13,56		19,16		22,53	
65	3,86		7,8		9,55		11,57		16,55		19,57	
Expanzní ventil EX5-U31FLR												
Výkon expanzního ventilu QEV [kW] / Poměrné zatížení K=QCH/QEV [%]												
Kond. teplot a tc [°C]	Vypařovací teplota te [°C]											
	-25		-10		-5		0		10		15	
	QEV	K	QEV	K	QEV	K	QEV	K	QEV	K	QEV	K
	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[kW]	[%]	[kW]	[%]
30	52,00	33,85	49,00	34,90	48,00	34,79	45,00	35,78	37,00	38,38	31,00	41,29
35	53,00	33,96	52,00	35,38	51,00	35,88	49,00	36,94	43,00	40,70	39,00	43,33
50	55,00	32,36	56,00	32,68	56,00	32,86	55,00	33,27	53,00	33,77	51,00	34,31
55	54,00	30,93	56,00	31,61	56,00	31,96	56,00	32,14	54,00	33,33	53,00	33,77
65	51,00	0,00	54,00	0,00	54,00	0,00	55,00	0,00	55,00	0,00	54,00	0,00
Chladicí výkon QCH												
Kond. Teplot a tc [°C]	Vypařovací teplota te[°C]											
	-25		-10		-5		0		10		15	
30	6,83		12,6		15,05		17,91		24,9		29	
35	6,45		11,95		14,37		17,13		23,82		27,82	
50	5,2		10		12,1		14,51		20,4		23,93	
55	4,76		9,28		11,28		13,56		19,16		22,53	
65	3,86		7,8		9,55		11,57		16,55		19,57	

Tab. 5.5 Využitelnost kapacity EEV EX4-U31 FLR a EX5-U32 FLR[14]

Pracovní rozsah obou EEV je 10-100%. U typu EX4 není dostatečný výkon EEV u vyšších hodnot vypařovací teploty (ovšem na zbytečně vysoký chladicí výkon) a u typu EX5 zase naopak výkon expanzního ventilu je příliš velký u nízkých vypařovacích teplot - docházelo by k nestabilnímu průtoku chladiva expanzním ventilem. Z toho důvodu byl zvolen EEV EX4-U31 FLR.

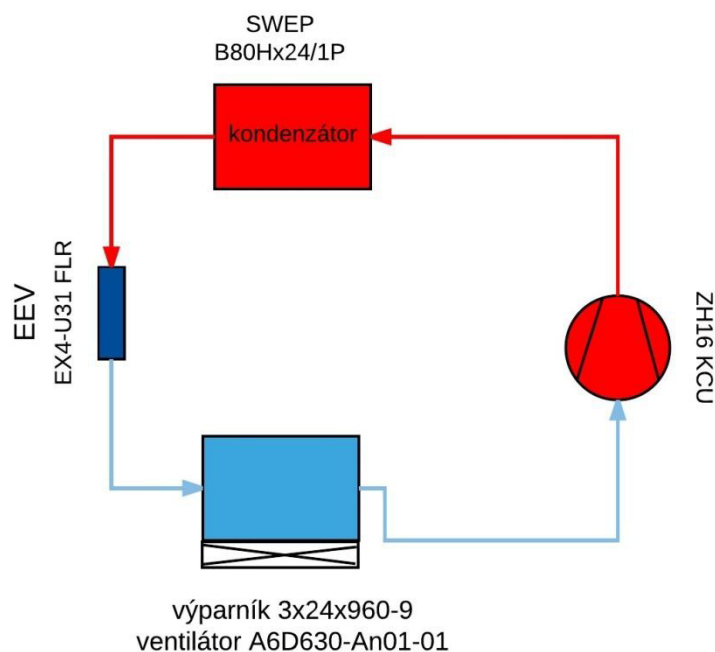
5.4.6. Konfigurace navrženého chladicího oběhu

Chladicí okruh navrženého TČ pro bytové domy je poskládán z následujících základních komponent:

- ZH16 KCU Scroll kompresor
- Výparník 3x24x960-9 + ventilátor EBM PAPST A6D630-AN01-01
- Kondenzátor SWEP B80Hx24/1P
- EEV EX4-U31 FLR

Pro takovýto návrh chladicího okruhu byly provedeny výpočty za pomoci softwarů zmíněných v kapitole 5.4 pro podmínky, při kterých se běžně provádí zkoušky zařízení před jeho uvedením na trh. Jsou to: A12, A7, A2, A-7, A-15/W55, W45 a W35. Výsledky jsou uvedeny v tabulkách 5.6, 5.7, 5.8.

Schéma tohoto základního chladicího okruhu s konkrétními komponenty je znázorněno na Obr. 5.7. Znázornění okruhu v p-h diagramu za podmínek A2/W55 je na Obr. 5.8.



Obr. 5.7 Schéma okruhu se základními navrženými komponenty

Veličina	Jednotka	W55				
		A12	A7	A2	A-7	A-15
Oběh:						
Qh kondenzátor	kW	20,37	17,86	15,49	12,09	9,7
Qc výparník	kW	15,05	12,65	10,4	7,197	4,98
Te vypař. teplota (ΔT = 8°C)	°C	4	-1	-6	-15	-23
Přehřátí sání	K	6				
Tc kond tepl	°C	58				
Podchlazení	K	5				
kompresor						
Příkon	kW	5,726	5,626	5,526	5,346	5,186
Tlak na výtlaku	bar	20,16				
Tlak na sání	bar	5,39	4,64	3,96	2,93	2,2
Hmotnostní tok	g/s	61,5	53,1	44,7	32,4	23,5
kondenzátor						
Teplota chladiva vstup	°C	75,2	77,6	81,7	92,8	110,3
Teplota chladiva výstup	°C	53				
Hmotnostní tok chladiva	g/s	61,5	53,1	44,7	32,4	23,5
Teplota topné vody vstup	°C	41,9	43,5	45	47,2	48,7
Teplota topné vody výstup	°C	55				
Hmotnostní tok topné vody	kg/s	0,39				
Výparník						
Objemový průtok vzduchu	m3/hod	4500	4200	3500	2700	1800
Teplota venk. vzduchu	°C	12	7	2	-7	-15
Výpočtová rel. vlhkost vzduchu	%	0,89	0,87	0,84	0,75	0,56
Tlaková ztráta - vzduch	Pa	8	8	6	3	1
Tlaková ztráta - chladivo	kPa	17	16	13	8	7
Expanzní ventil						
Výkon expanzního ventilu	kW	18,3	18,3	18,2	17,9	17,4
Poměrné zatížení	%	82,24	69,13	57,14	40,21	28,62

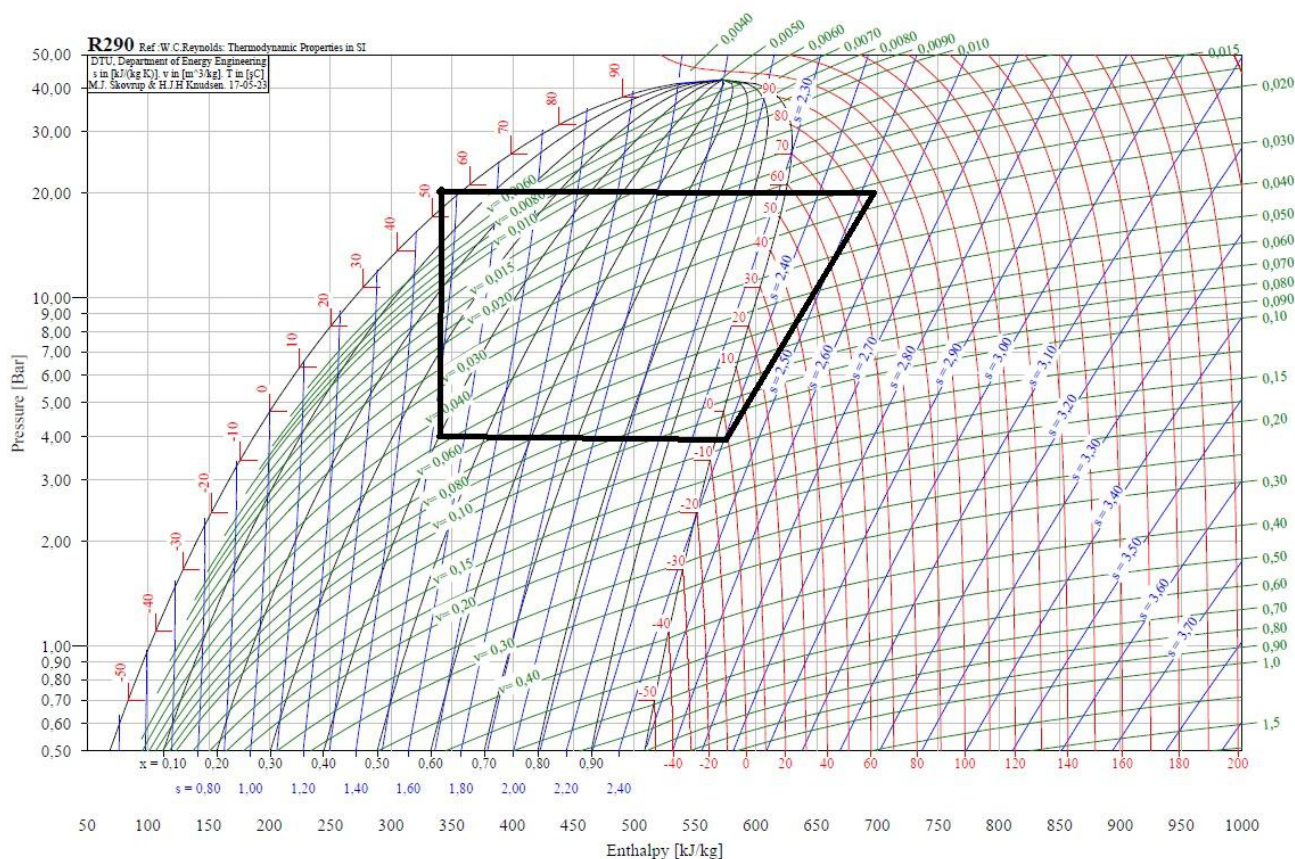
Tab. 5.6 Parametry chladivového okruhu pro teplotu topné vody 55 $^{\circ}\text{C}$

Veličina	Jednotka	W45				
		A12	A7	A2	A-7	A-15
Oběh:						
Qh kondenzátor	kW	21,6	18,75	16,22	12,47	9,84
Qc výparník	kW	17,12	14,39	11,96	8,4	5,92
Te vypař. teplota (ΔT = 8°C)	°C	4	-1	-6	-15	-23
Přehřátí sání	K	6				
Tc kond tepl	°C	48				
Podchlazení	K	5				
kompresor						
Příkon	kW	4,786	4,696	4,604	4,44	4,294
Tlak na výtlaku	bar	16,33				
Tlak na sání	bar	5,39	4,64	3,96	2,93	2,2
Hmotnostní tok	g/s	62,4	53,6	45,6	33,4	24,5
kondenzátor						
Teplota chladiva vstup	°C	63,7	65,3	68	75,9	88,6
Teplota chladiva výstup	°C	43				
Hmotnostní tok chladiva	g/s	62,4	53,6	45,6	33,4	24,5
Teplota topné vody vstup	°C	31,7	33,45	35	37,3	39
Teplota topné vody výstup	°C	45				
Hmotnostní tok topné vody	kg/s	0,39				
Výparník						
Objemový průtok vzduchu	m3/hod	5500	5100	4400	3300	2300
Teplota venk. vzduchu	°C	12	7	2	-7	-15
Výpočtová rel. vlhkost vzduchu	%	0,89	0,87	0,84	0,75	0,56
Tlaková ztráta - vzduch	Pa	12	11	9	4	2
Tlaková ztráta - chladivo	kPa	15	13	11	7	6
Expanzní ventil						
Výkon expanzního ventilu	kW	17,9	18,1	18,3	18,3	18,1
Poměrné zatížení	%	95,64	79,50	65,36	45,90	32,71

Tab. 5.7 Parametry chladivového okruhu pro teplotu topné vody 45 $^{\circ}\text{C}$

Veličina	Jednotka	W35				
		A12	A7	A2	A-7	A-15
Oběh:						
Qh kondenzátor	kW	22,85	19,74	17,02	12,93	10,08
Qc výparník	kW	19,1	16,07	13,45	9,53	6,81
Te vypař. teplota (ΔT = 8°C)	°C	4	-1	-6	-15	-23
Přehřátí sání	K	6				
Tc kond tepl	°C	38				
Podchlazení	K	5				
kompresor						
Příkon	kW	3,997	3,918	3,84	3,7	3,572
Tlak na výtlaku	bar	13,06				
Tlak na sání	bar	5,39	4,64	3,96	2,93	2,2
Hmotnostní tok	g/s	63	54,1	46,2	34	25,2
kondenzátor						
Teplota chladiva vstup	°C	53,6	54,5	56,2	61,8	71,1
Teplota chladiva výstup	°C	33				
Hmotnostní tok chladiva	g/s	63	54,1	46,2	34	25,2
Teplota topné vody vstup	°C	21,6	23,4	25	27,4	29,9
Teplota topné vody výstup	°C	35				
Hmotnostní tok topné vody	kg/s	0,39				
Výparník						
Objemový průtok vzduchu	m3/hod	8300	7600	5500	4000	2700
Teplota venk. vzduchu	°C	12	7	2	-7	-15
Výpočtová rel. vlhkost vzduchu	%	0,89	0,87	0,84	0,75	0,56
Tlaková ztráta - vzduch	Pa	24	21	12	5	3
Tlaková ztráta - chladivo	kPa	13	11	10	6	5
Expanzní ventil						
Výkon expanzního ventilu	kW	16,4	17	17,5	17,9	17,9
Poměrné zatížení	%	116,46	94,53	76,86	53,24	38,04

Tab. 5.8 Parametry chladivového okruhu pro teplotu topné vody 35 $^{\circ}\text{C}$



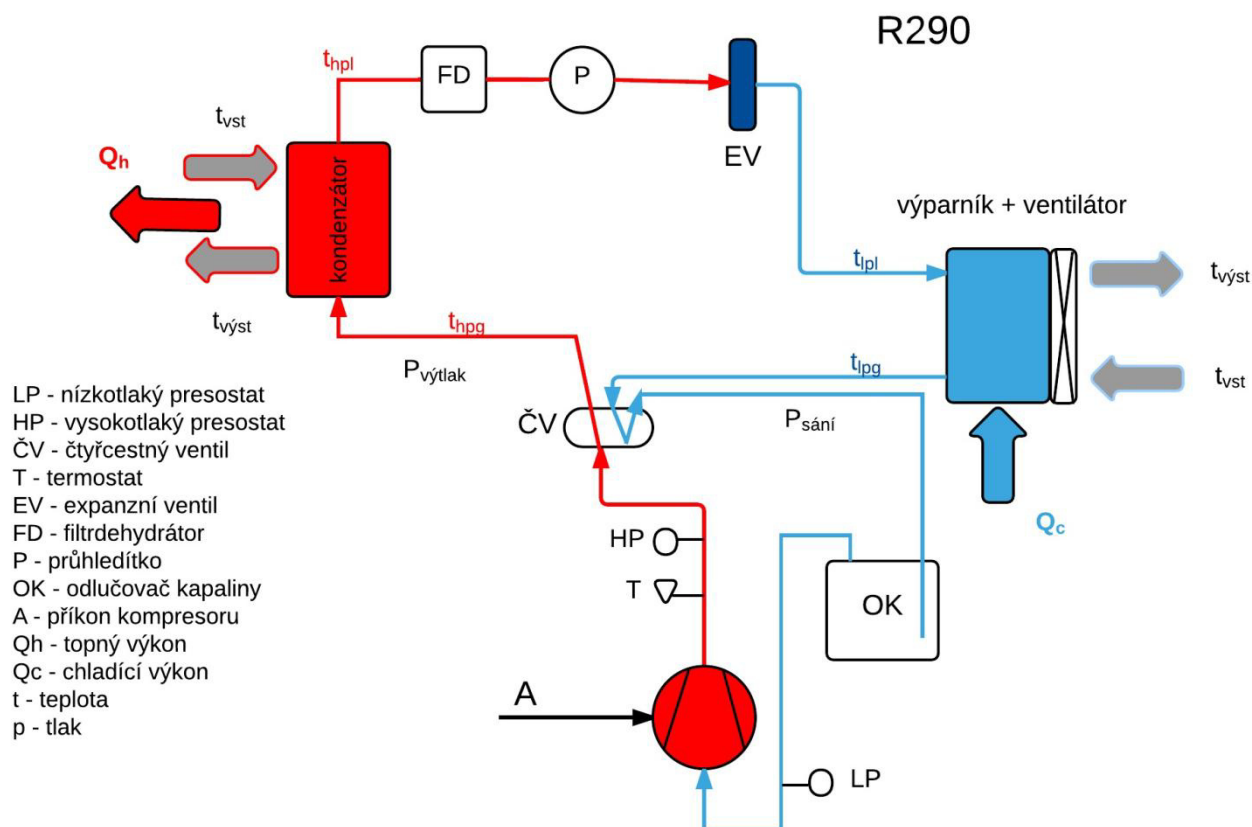
Obr. 5.8 Znázornění chladicího okruhu v p-h diagramu chladiva R290 pro A2/W55

5.5. Návrh kompletního chladivového oběhu

Kompletní návrh chladicího okruhu je schematicky znázorněn na obr. 5.9.

Mimo základní komponenty jako je kompresor, výparník s ventilátorem, kondenzátor a expanzní ventil je třeba navrhnout i zbývající komponenty. Jsou jimi:

- Vhodně zvolené potrubí
- Čtyřcestný ventil
- Filtredehydrátor
- Průhledítko
- Odlučovač kapaliny
- Nízkotlaký a vysokotlaký presostat
- Termostat
- Detektor úniku chladiva



Obr. 5.8 Kompletní schéma navrhovaného okruhu

5.6. Návrh ostatních komponent oběhu

Mimo samotné komponenty je nutné vhodně nadimenzovat chladivové potrubí, které následně ovlivní i volbu zbývajících komponent oběhu.

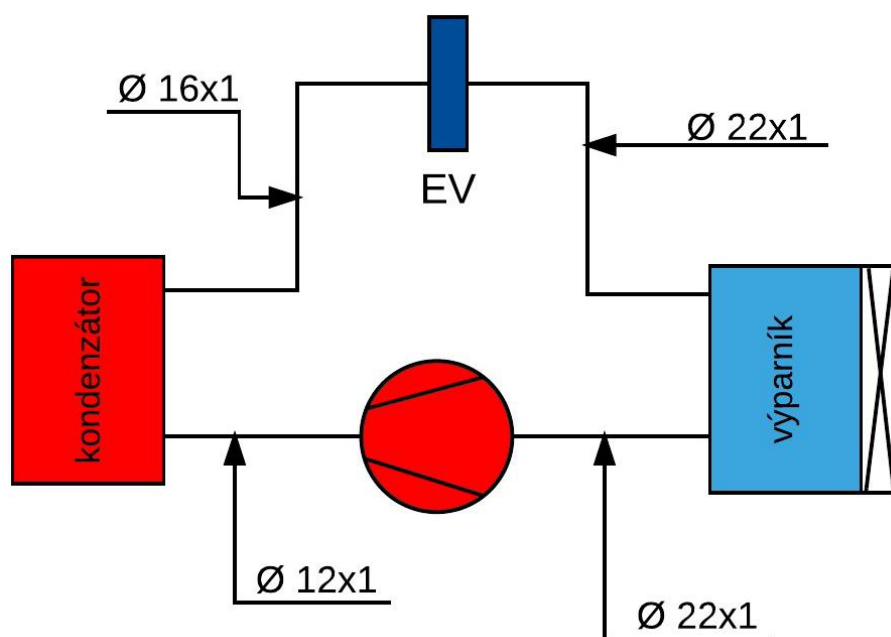
5.6.1. Potrubí

Pro návrh TČ je použito měděné potrubí, tak jak se používá u většiny chladících zařízení. Jelikož v potrubí bude proudit hořlavé chladivo R290, je zapotřebí dbát na těsnost a hermetičnost celého zařízení. Svařování, nebo lépe řečeno, tvrdé pájení musí být provedeno speciálně proškolenou osobou.

Stanovení základních rozměrů a dimenzí bylo provedeno pomocí softwaru Coolpack, které je vyvinuto pro výpočty termodynamických dějů.

Komponenty by se samozřejmě neměly navrhovat jen podle vstupního a výstupního rozměru potrubí, v praxi tomu tak ale občas bývá.

Na schématu Obr. 5.9 jsou znázorněny základní dimenze chladivového potrubí okruhu.



Obr. 5.9 Dimenze Cu potrubí navrhovaného chladicího okruhu

5.6.2. Čtyřcestný ventil

Čtyřcestný ventil je v návrhu použit kvůli skutečnosti, že lamely na výparníku při nízkých teplotách zamrzávají. Tato komponenta je umístěna na výtlaku z kompresoru a zároveň jí prochází také nízkotlaká větev - ta zde vede po výstupu z výparníku po cestě do kompresoru. Při reverzním chodu se čtyřcestný ventil přepíná do polohy odmrazování - teplo je odebíráno topné vodě, chladivo proudí skrz výparník, který má obrácenou roli a teplo odevzdává zamrzlým lamelám, které tak odtávají.

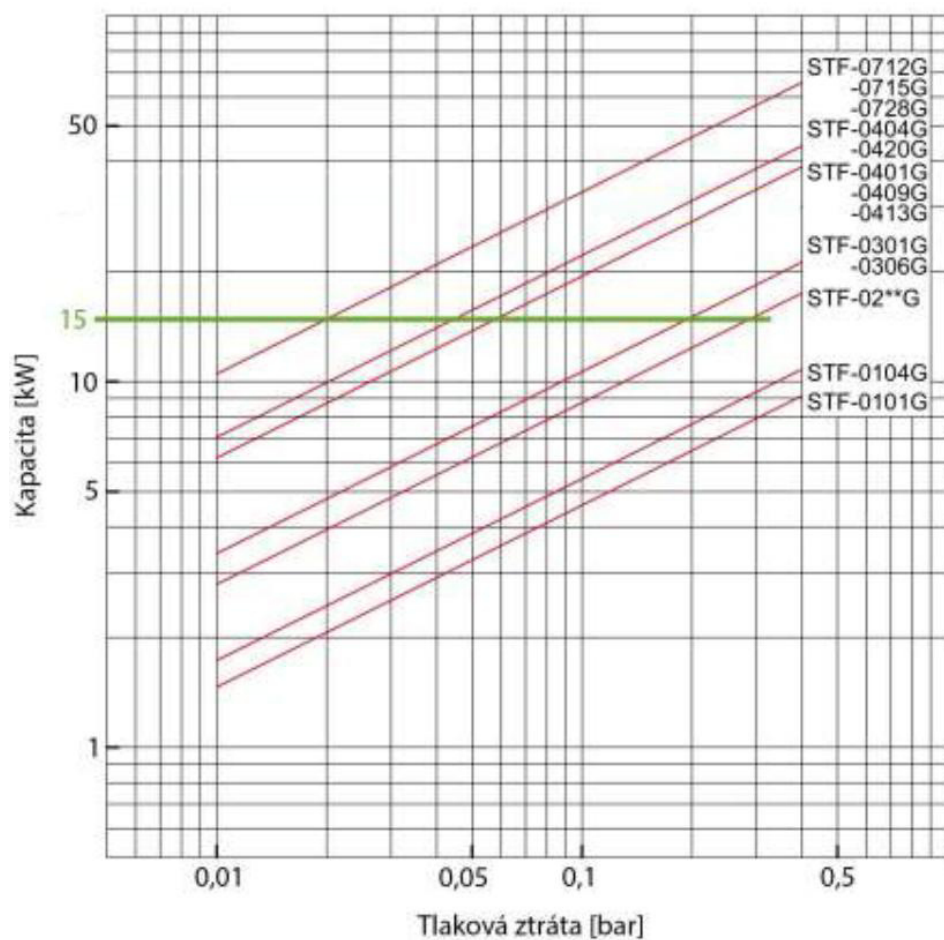
Čtyřcestný ventil se volí hlavně podle tlakové ztráty, kterou při průtoku konkrétního chladiva vytváří. Tyto ztráty jsou spjaté s průtokem chladiva skrz tento ventil, ale velmi často se tyto průtokové hodnoty převádějí na chladicí výkon. Takovéto nahrazení je stejně tak použito u většiny dalších komponent.

V návrhu je použit čtyřcestný ventil značky Danfoss, která na trhu dominuje těmito doplňkovými komponentami. Vzhledem k tomu, že čtyřcestný ventil na bázi R290 výrobce neuvádí, byla zvolena alternativa a tato komponenta (stejně jako všechny další použité komponenty od společnosti Danfoss) byla navržena pro chladivo R22, chladivo svými vlastnostmi podobné propanu.

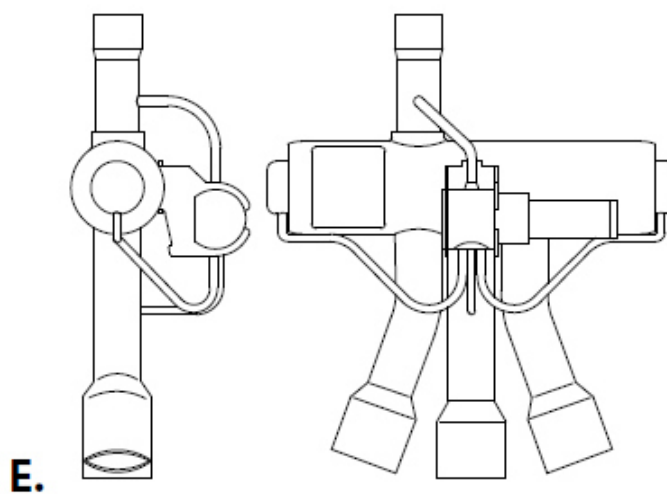
Tlakové ztráty 4-cestných ventilů STF-G jsou uvedeny na Obr. 5.10. Podmínky, pro něž je průběh v grafu uveden jsou: kondenzační teplota 58°C, vypařovací teplota -6°C, a přehřátí 6 K. Chladicí výkon při těchto podmínkách je 15,5 kW.

Návrh čtyřcestného ventilu, jak vychází z grafu, připadl na STF-0301 G - tvar E (Obr.5.11). Tento typ ventilu má tyto vlastnosti:

- průměr potrubí na vstupu 12 mm na výstupu 16 mm
- jmenovitý chladicí výkon 5,3 - 14,6 kW



Obr. 5.10 Závislost kapacity na tlakových ztrátách čtyřcestných ventilů typu STF -G [1]



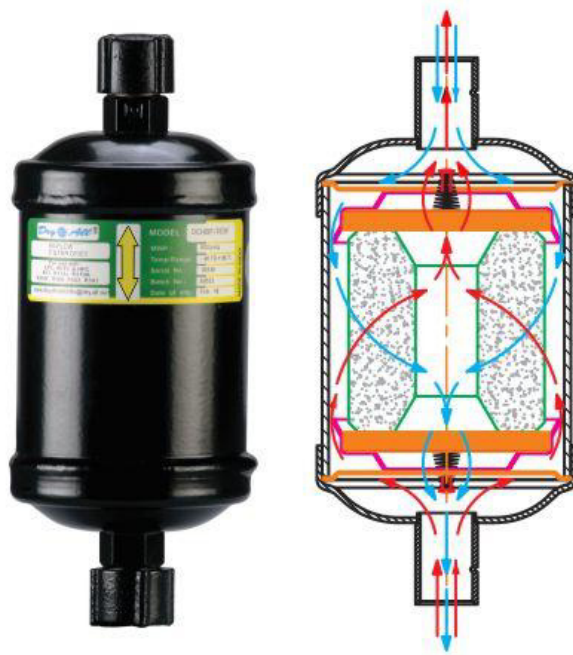
Obr. 5.11 Čtyřcestný ventil STG-G, tvar E [16]

5.6.3. Filtrdehydrátor

Jelikož chladivo v okruhu proudí oběma směry, je třeba zvolit obousměrný filtrdehydrátor. V návrhu je použit od značky Danfoss typ DMB 165s, který má tyto parametry:

- Průměr připojení 16 mm
- chladicí výkon pro R22 40 kW (při $t_E = -15^\circ\text{C}$ a $t_C = 30^\circ\text{C}$)

Obousměrné filtrdehydrátory jsou vybaveny zpětnými ventily, které zaručují, že kapalné chladivo bude přes filtrdehydrátor protékat vždy z vnější strany filtračního jádra směrem do jeho středu. Díky tomu budou zadrženy všechny částice nečistot bez ohledu na směr průtoku. Filtrační dehydrátory DMB zaručují rychlou a účinnou adsorpci vlhkosti, stejně jako organických a anorganických kyselin. Takovýto filtrdehydrátor je znázorněn na Obr. 5.12.



Obr. 5.12 Obousměrný filtrdehydrátor[17]

5.6.4. Presostat

Presostaty v návrhu zastávají funkci hlídání tlaků na sání a na výtlaku. V případě nebezpečných hodnot tlaků pro okruh je presostat schopen vypnout či zapnout chod tepelného čerpadla.

Je zde použit jak nízkotlaký, tak vysokotlaký presostat. Presostaty se vyrábějí ve dvou základních provedeních - pevné nebo kombinované. Pevné presostaty mají pevně stanovenou hodnotu kritického tlaku (pomocí talířové pružiny), se kterou po nastavení nelze hýbat. Kombinované presostaty mají možnost nastavování kritického tlaku, ale jeho nevýhodou je jejich nižší tlaková odolnost. Také zde může dojít k nastavení špatné hodnoty tlaku neodbornou osobou, což může mít neblahé následky pro celou jednotku.

V tomto návrhu jsou použity pevné, tzv. patronové presostaty. Pro nízkotlaký presostat byla kritická hodnota tlaku stanovena na 1,35 bar, což je hodnota tlaku sytých par chladiva R290 při teplotě -35°C , přičemž pracovní oblast kompresoru je omezena teplotou -30°C . Nízkotlaký presostat byl zvolen z produktového průvodce pro R290 od společnosti Emerson climate technologies. Je jím typ PS4-W1 low pressure.

Pro vysokotlaký presostat byla kritická hodnota tlaku stanovena na 31 bar, což odpovídá tlaku sytých par při teplotě 80°C , přičemž rozsah kompresoru je omezen teplotou 70°C . Jako vysokotlaký presostat pro 31 bar je zvolen typ PS-W1 high pressure. Oba tyto presostaty jsou v ATEX, Ex provedení.



Obr. 5.13 Presostat PS4[14]

5.6.5. Odlučovač kapaliny

Odlučovače kapaliny zajišťují, že kompresor nasává z výparníku chladivo pouze ve formě páry. Pokud by kompresor nasál i kapalně chladivo, nastal by tzv. kapalinový ráz. Tento jev způsobí havárii kompresoru, protože dojde k jednomu z následujících poškození – zničení sacích nebo výtláčných ventilů, poškození ložisek kompresoru nebo zničení těsnění. [18]

Použití odlučovače kapaliny je v tomto návrhu nutné, kvůli vlastnostem chladiva R290, kdy dochází k většímu vytváření kapalně fáze chladiva na sání kompresoru. Odlučovač musí být schopen pojmout 50% náplně chladiva. V tomto návrhu byla stanovena velikost náplně chladiva na 4,8 kg, tomuto údaji bude věnována pozornost v kapitole 5.9.

Tato komponenta byla vybrána od italského výrobce Frigomec SpA, konkrétně typ Frigomec 06/S22. Tento odlučovač má parametry:

- objem odlučovače 3,4 litru
- chladič výkon 2,3 až 15,5 kW



Obr. 5.14 Odlučovač kapaliny Frigomec SpA[19]

5.6.6. Průhledítko

Tato komponenta je volena čistě podle průměru potrubí. Nachází se před expanzním ventilem (potrubí o průměru 16 mm) . Průhledítko je opatřeno měděnými vývody pro napájení k potrubí. Hladinoznak v průhledítku ukazuje, jaký je aktuální stav chladiva před EEV. Zároveň je tento hladinoznak vybaven indikátorem vlhkosti, který ukazuje aktuální množství vlhkosti v chladivu změnou své barvy. Zvolen byl typ Mia M16 od Alco controls.



Obr. 5.15 Průhledítko s vlhkoměrem od Alco controls[14]

5.6.7. Termostat

Zařízení bude vybaveno termostatem na výtlačku od výrobce Copeland. Ten doporučuje použití typu 8854416, nastavený na 120°C. Tento typ je přímo určený pro výtlačné potrubí o dimenzi 12 mm.

Termostat je elektromechanický přístroj, který reaguje na teplotní signál. V případě překročení 120°C termostat vypíná elektromotor kompresoru.

5.6.8. Detektor chladiva

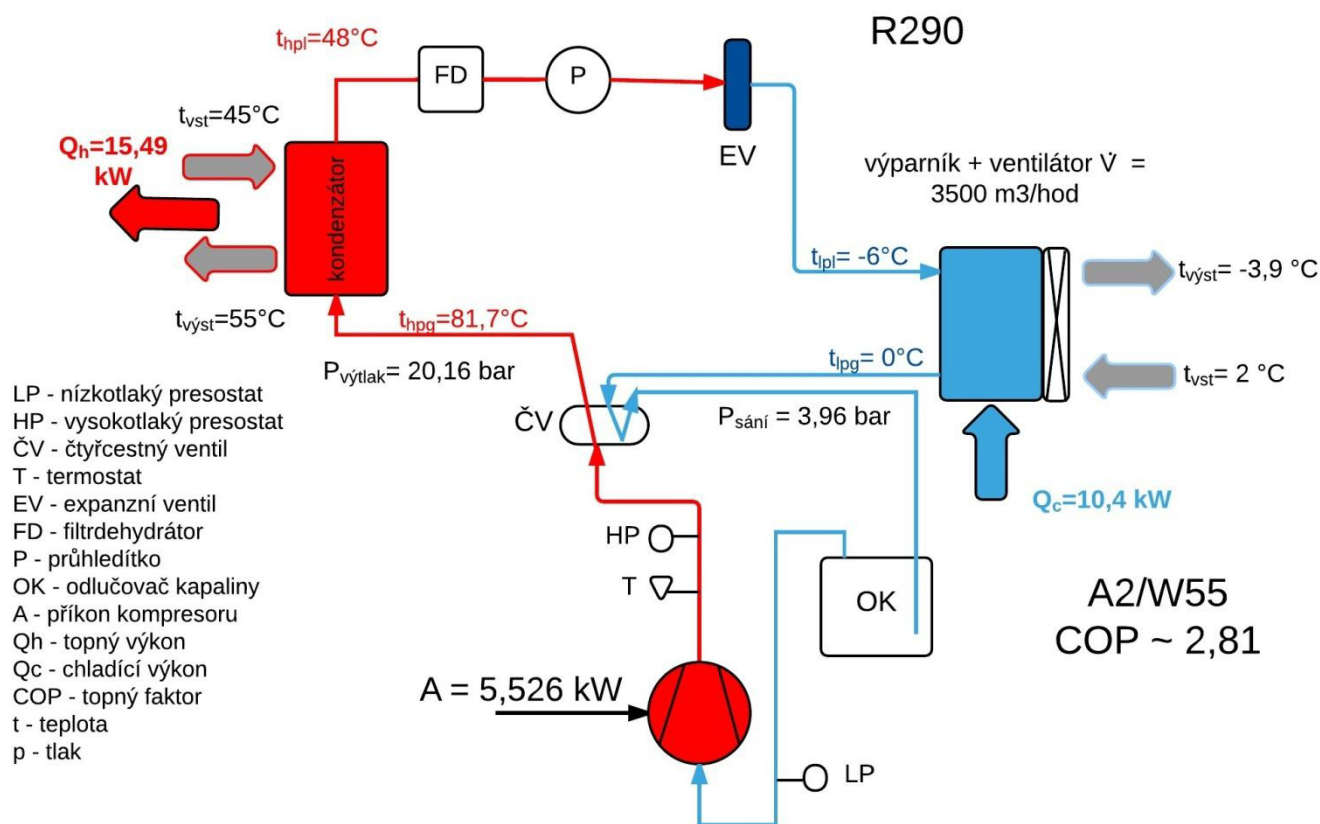
Zvolen je detektor od firmy Danfoss, typ GDH CT 5000. Je vyvinut pro detekci propanu při měřitelném rozsahu 0 až 5000 ppm.

5.7. Provozní režimy TČ pro bytové domy

Navrhovaná jednotka má dva provozní režimy. První je režim vytápění. Druhý se spouští v případě vytvoření námrazy na lamelách výparníku - reverzní odmrazovací režim.

5.7.1. Režim vytápění

V případě zapojení jedné 15 kW jednotky vypadá režim vytápění dle Obr.5.16. Je zde znázorněna energetická bilance jednotlivých toků v chladivovém okruhu při podmínkách A2/W55. Celkový popis tohoto režimu je popsán v kapitole 3.1.



Obr. 5.16 Energetická bilance okruhu při režimu vytápění za podmínek A2/W55

5.7.2. Reverzní režim

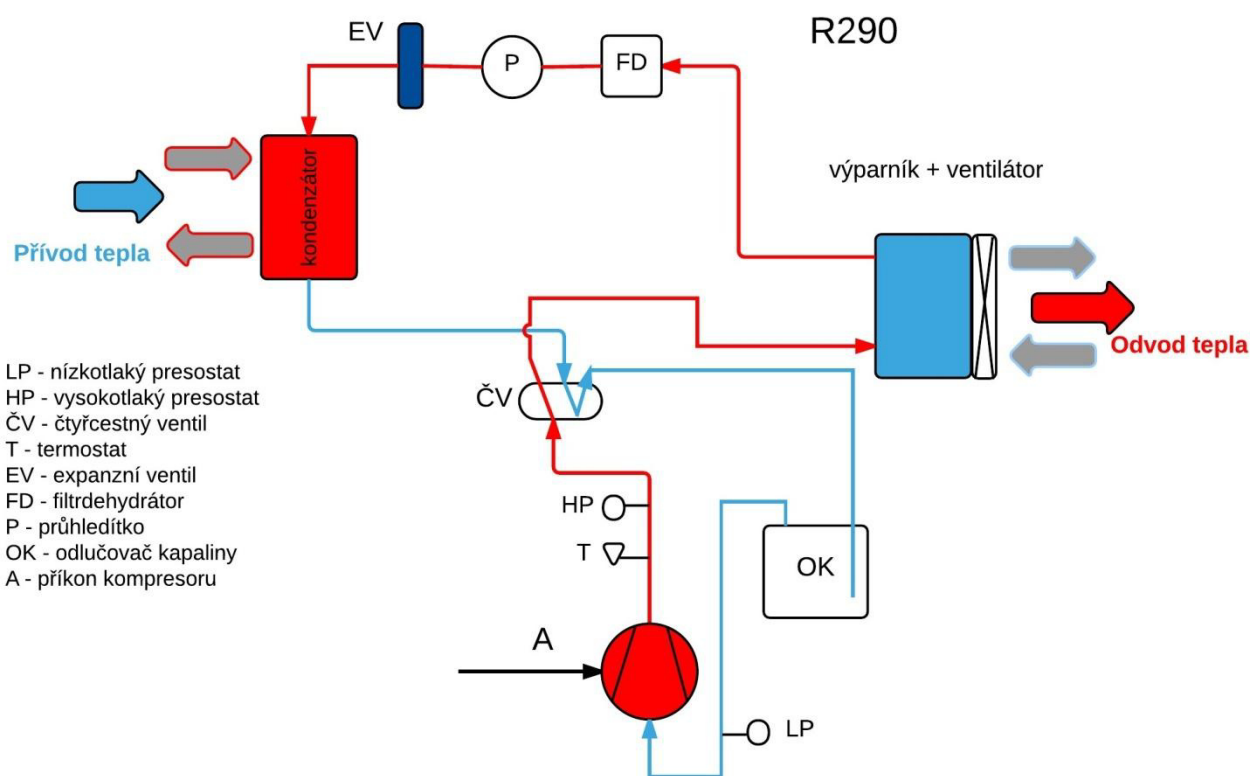
Reverzní režim zajišťuje odtávání námrazy na lamelách výparníku. Jeho zamrznání je nežádoucí jev, kterému se ale v zimních měsících nelze vyhnout. Systém odmrazování snižuje COP, protože teplo získané v režimu vytápění se nyní spotřebovává v reverzním režimu na odmražení lamel. Celkový popis tohoto režimu je popsán v kapitole 3.2.

Systém je založen na otočení směru proudění chladiva v oběhu. To se stane díky přepnutí čtyřcestného ventilu. Kondenzátor a výparník si vyměňují role - do kondenzátoru se teplo přivádí (topná voda) a na výparníku je toto teplo odebráno (odtávání námrazy).

Jednotka musí být schopna identifikovat moment, kdy je zapotřebí spustit reverzní režim. Řídící jednotka dostává pokyn od nějakého měřeného impulsu a poté přepíná čtyřcestný ventil pro režim odmrazování. Tímto měřeným impulsem v praxi bývají:

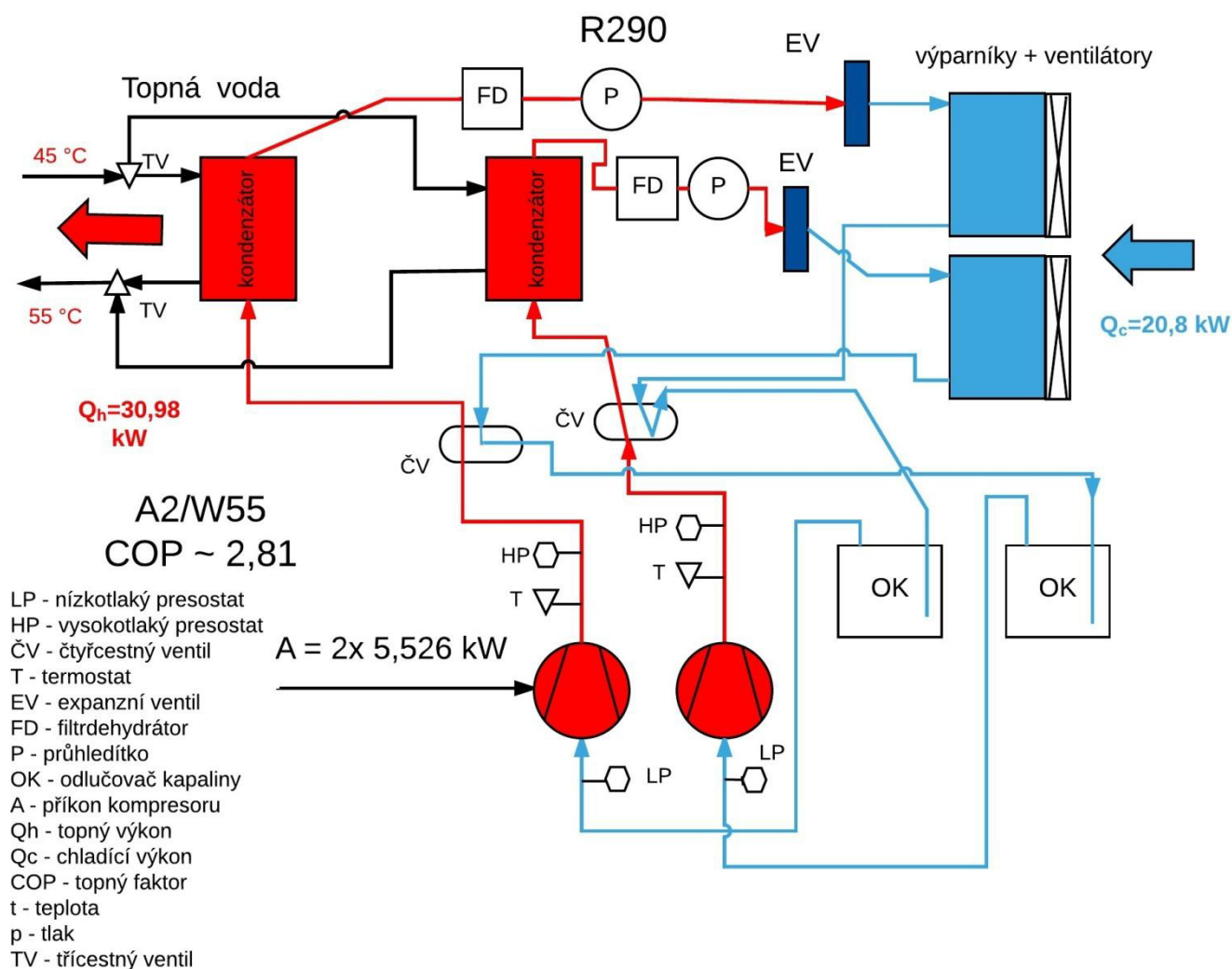
- měření teploty povrchu výparníku
- měření venkovní teploty
- měření tlakové ztráty vzduchu při průchodu mezi lamelami výparníku
- měření poklesu vypařovací teploty [1]

Nejjednodušší typ měřeného impulsu je pravděpodobně měření teploty povrchu výparníku. Bude tím tak zajištěno včasné a pohotovité spuštění tohoto režimu. O kolik nakonec reverze toku chladiva sníží celkové COP se zjistí pouze reálným měřením. V tomto návrhu bylo uvažováno, že se topný výkon při teplotách vzduchu nižších než 3°C sníží o 10%. Při teplotách vyšších než 3 °C je odtávání námrazy zajištěno doběhem ventilátoru. Schéma reverzního chodu je znázorněno na Obr. 5.17.



Obr. 5.17 Reverzní režim

5.8. Kaskádové zapojení



Obr. 5.18 Kaskádové zapojení dvou stejných jednotek při režimu vytápění

U bytových domů bývá potřeba tepla vyšší než 15 kW při A2/W55, jak je tomu v případě zapojení jediné navržené jednotky TČ. Potřeba tepla na jeden vchod bytového domu je přibližně 40 kW. Samozřejmě záleží na typu stavby, zateplení, oknech, počtu bytů apod. Hodnota potřebného tepla se bude lišit individuálně. Pro topný výkon alespoň 40 kW při podmínkách A2/W55 bude tedy potřeba zapojit 3 námi navržené jednotky do kaskády - dostaneme 45 kW tepla.

Na Obr. 5.18 je znázorněno zapojení dvou jednotek do kaskády, napojených na okruh topné vody. Výkon, jak chladicí, tak topný, je tedy dvojnásobný oproti jednomu TČ. V praxi to vypadá tak, že ve strojovně vedle sebe stojí dvě kompaktní jednotky o stejných komponentech a vlastnostech. Počet skříní s jednotkami lze tedy libovolně přidávat do kaskády, dle potřeby tepla. Napojení na okruh topné vody je realizováno pomocí třícestného směšovacího ventilu. Je tak učiněno kvůli požadavku udržení výstupní teploty vody na hodnotě 55 °C. Pokud bude třícestný směšovací ventil nepřítomný a bude spuštěna jedna ze

dvou jednotek TČ, výstupní voda z kondenzátoru bude mísená s vodou právě neaktivního kondenzátoru (55 °C voda se promísí s 45 °C vodou a vznikne tak pouze 50 °C směs). Třicestný směšovací ventil je pomocí servopohonu nastaven do požadované polohy, aby na výstupu byla vždy teplota topné vody 55 °C.

Regulace výkonu je realizována pomocí spínání/odepínání jednotek v kaskádě. Pokyn pro řídicí jednotku, která spouští jednotlivé okruhy tepelných čerpadel v kaskádě, je realizován opět podle měřeného impulsu. Pro přechod z nižšího výkonu na vyšší to může být:

- pokles teploty topné vody v akumulární nádrži na určitou (minimální) hodnotu
- pokles teploty topné vody v akumulární nádrži pod určitou hodnotu a setrvání na ní po určitý časový úsek
- pokles teploty vratné vody (voda přicházející do kondenzátoru) pod určitou minimální hodnotu

Pro přechod z vyššího výkonu na nižší může být impulsem:

- dosažení maximální dovolené teploty topné vody v akumulární nádrži
- dosažení maximální teploty vratné vody přicházející do kondenzátoru [1]

V tomto návrhu kaskádového zapojení byl zvolen jako měřený impuls (pro přechod z vyššího výkonnostního stupně na nižší) maximální teplota vratné vody. V opačném případě, kdy je třeba jít z nižšího výkonnostního stupně na vyšší je vybrán jako měřený impuls pro řídicí jednotku pokles teploty vratné vody pod minimální hodnotu (pokles pod 45 °C).

5.9. Výpočet náplně chladiwa

Pro hrubý výpočet množství chladiwa v navrženém okruhu byla použita excelovská kalkulačka náplně chladiwa, která je volně ke stažení na stránkách Slovenského zväzu pre chladiacu a klimatizačnú techniku.

Jako chladiwo bylo zvoleno R22 (propan nebyl v nabídce), jako vypařovací teplota se zvolila -6 °C, požadovaný chladicí výkon systému byl zadán 10,4 kW. Dále kalkulačka požadovala zvolit typ výparníku, kondenzátoru a kompresoru. Průměr a délka potrubí pro kapalně chladiwo bylo zadáno 25 mm/1 m. Nakonec výpočtový software chtěl vědět, zda se v okruhu nachází nějaké zásobníky chladiwa a zda jsou umístěny na nízkotlaké, nebo vysokotlaké straně oběhu. Byl zvolen nízkotlaký zásobník (odlučovač kapaliny).

Jelikož je hustota kapalného propanu přibližně poloviční než hustota kapalného chladiwa R22, je uvažován spodní odhad náplně chladiwa, a to **4,8 kg**. V kapitole 5.3.2 je pomocí normy ČSN EN 378 vypočteno maximální množství náplně $m_{\max} = 4,94$ kg. Tento chladicí okruh by tedy měl splňovat požadavky normy a návrh TČ by měl být realizovatelný.

Table 1: Výpočet náplně

		Množstvo chladiwa v systéme (kg)					TOTAL (kg)	Chladiwo (split kg)		
System number	System Name	Výparník	Kondenzátor	Kompresor	Vedenie tekutín	Priestory (Nádoby)	Náplň chladiwa horný a dolný odhad	HFC náplň	HCFC náplň	Iné
Horný odhad	1	3,6 kg	3,5 kg	0,1 kg	0,6 kg	0,0 kg	7,7 kg	0,0 kg	7,7 kg	0,0 kg
Dolný odhad	1	2,1 kg	2,1 kg	0,1 kg	0,6 kg	0,0 kg	4,8 kg	0,0 kg	4,8 kg	0,0 kg

Obr. 5.19 Horní a dolní odhad náplně chladiwa pro R22

5.10. Stanovení COP

COP, nebo také topný faktor, je při volbě TČ pro koncového zákazníka jedna z nejdůležitějších hodnot pro rozhodnutí. Je však třeba vědět, za jakých podmínek, resp. za jakých teplot je tato hodnota uváděna. Topný faktor uváděný za podmínek A12/W35 bude mnohem vyšší než COP uváděné za podmínek A-15/W55. Standardně se tedy většinou uvádí COP za podmínek A7/W35.

Samotný výpočet COP v tomto návrhu byl proveden s přihlédnutím k normě ČSN EN 14511-3. Topný faktor je tedy definován vztahem:

$$COP = P_{Tk} / P_{Pef} \quad \text{Rov. 5.2}$$

COP	topný faktor [-]
P_{Tk}	korigovaný topný výkon TČ [kW]
P_{Pef}	efektivní příkon TČ [kW]

Pro stanovení korigovaného topného výkonu TČ je použitý vztah z Rov. 5.3. Tento vztah lze použít v případě, že oběhové čerpadlo u vnitřního výměníku tepla (kondenzátoru) není součástí jednotky tepelného čerpadla. Okruh s cirkulující topnou vodou je okruh sekundární, přímo nepatřící do chladivového okruhu. Návrh TČ v této práci neuvažuje toto čerpadlo, proto lze použít Rov. 5.3.

$$P_{Tk} = P_T + (P_{\check{c}ef} / 1000) \quad \text{Rov. 5.3}$$

P_{Tk}	korigovaný topný výkon TČ [kW]
P_T	topný výkon TČ [kW]
$P_{\check{c}ef}$	část příkonu oběhového čerpadla pro efektivní příkon TČ [kW]

Topný výkon byl vypočítán v různých softwarech a je uveden v předchozích kapitolách za různých podmínek. Pro výpočet $P_{\check{c}ef}$ je ve výše uvedené normě definován vztah:

$$P_{\check{c}ef} = qv * \frac{\Delta p_i}{\eta} \quad \text{Rov. 5.4}$$

$P_{\check{c}ef}$	část příkonu oběhového čerpadla pro efektivní příkon TČ [W]
qv	objemový průtok vody [m ³ /hod]
Δp_i	tlaková ztráta sekundárního oběhu [Pa]
η	účinnost čerpadla [-]

Objemový průtok vychází z hmotnostního průtoku vody. Tlaková ztráta sekundárního oběhu je brána jako tlaková ztráta topné vody při průchodu kondenzátorem. Účinnost čerpadla je vypočtena pomocí vztahu v Rov. 5.5 - ta definuje účinnost čerpadla o hydraulickém výkonu nižším než 500 W.

$$\eta = 0,0721 * P_{hydrau}^{0,3183} \quad \text{Rov.5.5}$$

η účinnost čerpadla [-]

P_{hydrau} hydraulický výkon čerpadla [W]

Hydraulický výkon je definován vztahem z Rov. 5.6. Tento vztah je použitelný jen v případě, že oběhové čerpadlo není integrální součástí TČ.

$$P_{hydrau} = q_v * \Delta p_i \quad \text{Rov. 5.6}$$

P_{hydrau} hydraulický výkon čerpadla [W]

q_v objemový průtok vody [m³/hod]

Δp_i tlaková ztráta sekundárního oběhu [Pa]

Efektivní příkon TČ (součet všech příkonů TČ) je definován vztahem v Rov. 5.7

$$P_{Pef} = P_K + \frac{P_{RS} + P_V + P_{Čef}}{1000} \quad \text{Rov. 5.7}$$

P_{Pef} efektivní příkon TČ [kW]

P_K příkon kompresoru [kW]

P_{RS} příkon řídicího systému [W]

P_V příkon ventilátorů [W]

$P_{Čef}$ část příkonu oběhového čerpadla pro efektivní příkon TČ [W]

Příkony kompresoru byl vypočten pomocí softwarů v kapitole 5.4.6. Příkony ventilátoru vychází z charakteristiky ventilátoru, uvedené v kapitole 5.4.3. Pro řídicí systém je uvažována stálá hodnota příkonu 25 W.

V následujících tabulkách (5.9, 5.10, 5.11) jsou vypočítané hodnoty výše uvedených rovnic, včetně té nejdůležitější - COP. Je tak provedeno pro stejné podmínky jako v kapitole 5.4.6.

Jak bylo zmíněno v kapitole 5.7.2, reverzní režim snižuje hodnotu COP při venkovních teplotách nižších než 3 °C o 10%. V tomto případě je tak provedeno pro hodnoty korigovaného topného výkonu při venkovních teplotách vzduchu A2, A-7, A-15. [1]

Na Obr. 5.20 je graficky znázorněna závislost COP na venkovní teplotě vzduchu při teplotách topné vody 55 °C, 45 °C a 35 °C.

NÁVRH TČ VZDUCH - VODA PRO BYTOVÉ DOMY

Veličina	Jednotka	W55				
		A12	A7	A2	A-7	A-15
Výkon:						
Topný výkon TČ	[kW]	20,37	17,86	15,49	12,09	9,7
Objemový průtok vody	[m3/s]	0,00				
Tlaková ztráta na kondenzátoru	[Pa]	40200				
Hydr. výkon čerpadla	[W]	13,62				
Účinnost čerpadla	[-]	0,166				
Část příkonu oběhového čerpadla pro	[W]	94,13				
Korigovaný topný výkon	[kW]	20,46	17,95	15,58	12,18	9,79
Korigovaný topný výkon s odtáváním	[kW]	20,46	17,95	14,03	10,97	8,81
Příkon:						
Příkon (kompresor)	[kW]	5,73	5,63	5,53	5,35	5,19
Příkon řídicího systému	[W]	25				
Příkon cirkulačního čerpadla	[W]	95				
Příkon ventilátoru	[W]	200	180	185	185	190
Efektivní příkon	[kW]	6,05	5,93	5,83	5,65	5,50
COP	[-]	3,38	3,03	2,41	1,94	1,60

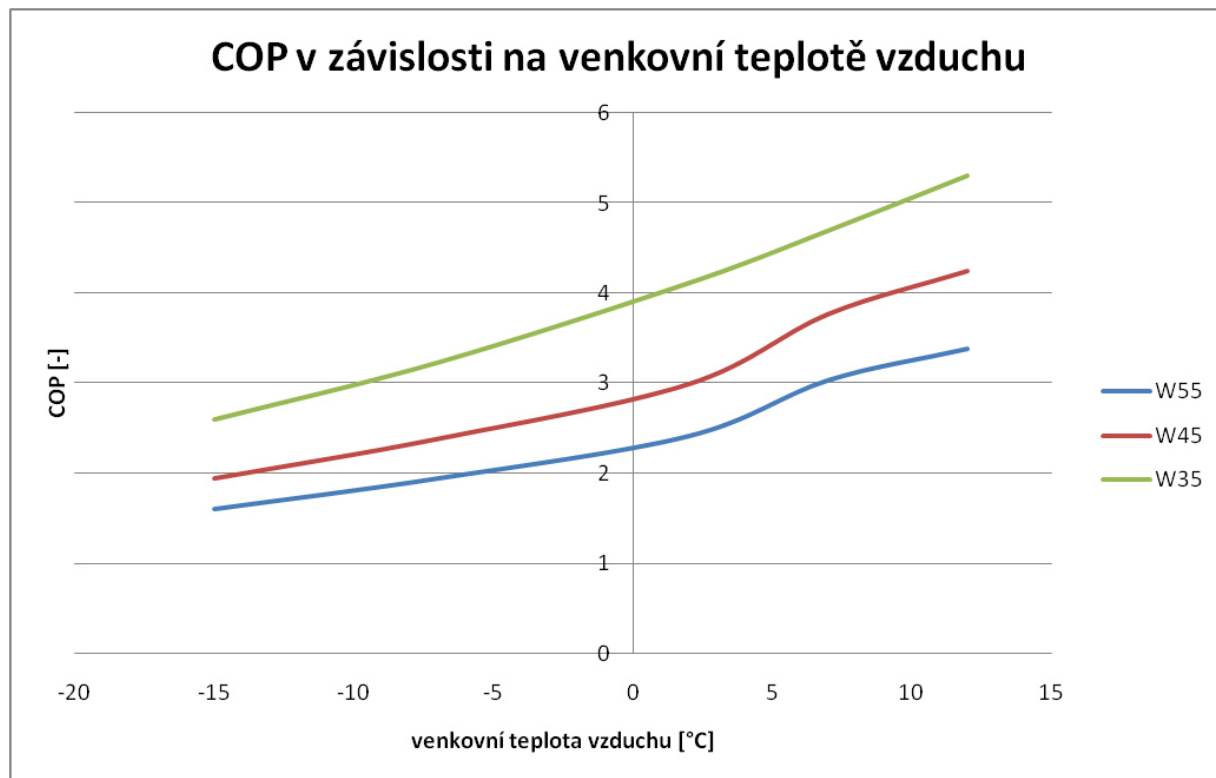
Tab. 5.9 Hodnoty COP pro teplotu topné vody 55 °C

Veličina	Jednotka	W45				
		A12	A7	A2	A-7	A-15
Výkon:						
Topný výkon TČ	[kW]	21,6	18,75	16,22	12,47	9,84
Objemový průtok vody	[m3/s]	0,00				
Tlaková ztráta na kondenzátoru	[Pa]	39900				
Hydr. výkon čerpadla	[W]	15,5				
Účinnost čerpadla	[-]	0,173				
Část příkonu oběhového čerpadla pro	[W]	90				
Korigovaný topný výkon	[kW]	21,69	18,84	16,31	12,56	9,93
Korigovaný topný výkon s odtáváním	[kW]	21,69	18,84	14,679	11,304	8,937
Příkon:						
Příkon (kompresor)	[kW]	4,786	4,696	4,604	4,44	4,294
Příkon řídicího systému	[W]	25				
Příkon cirkulačního čerpadla	[W]	90				
Příkon ventilátoru	[W]	200	180	185	185	190
Efektivní příkon	[kW]	5,10	4,99	4,90	4,74	4,60
COP	[-]	4,25	3,77	2,99	2,38	1,94

Tab. 5.10 COP pro teplotu topné vody 45 °C

Veličina	Jednotka	W35				
		A12	A7	A2	A-7	A-15
Výkon:						
Topný výkon TČ	[kW]	22,85	19,74	17,02	12,93	10,08
Objemový průtok vody	[m3/s]	0,00				
Tlaková ztráta na kondenzátoru	[Pa]	39600				
Hydr. výkon čerpadla	[W]	15,39252				
Účinnost čerpadla	[-]	0,172				
Část příkonu oběhového čerpadla pro	[W]	89,5				
Korigovaný topný výkon	[kW]	22,94	19,83	17,11	13,02	10,17
Korigovaný topný výkon s odtáváním	[kW]	22,94	19,83	15,40	11,72	9,15
Příkon:						
Příkon (kompresor)	[kW]	4,00	3,92	3,84	3,70	3,57
Příkon řídicího systému	[W]	25				
Příkon cirkulačního čerpadla	[W]	90				
Příkon ventilátoru	[W]	200	180	185	185	190
Efektivní příkon	[kW]	4,31	4,21	4,14	4,00	3,88
COP	[-]	5,30	4,69	4,11	3,23	2,60

Tab. 5.11 COP pro teplotu topné vody 35 °C



Obr. 5.20 COP v závislosti na venkovní teplotě vzduchu

5.11. Návrh kompaktnosti TČ

Navrhované tepelné čerpadlo pro bytové domy má být podle zadání kompaktní - všechny komponenty chladivového okruhu jsou uzavřeny v jedné skříni. Dalším bodem zadání je umístění jednotky uvnitř strojovny bytového domu - to ovlivňuje celkové rozměry skříně, kvůli průchodu dveřmi (uvažujeme 1960x800). Maximální rozměry skříně by tedy neměli přesahovat rozměry:

- výška 1800 mm
- délka 1500 mm
- šířka 750 mm

Vzhledem k rozměrům našich komponent toto není problém - výparník je o rozměrech 960 x 960 x 150, scroll kompresor je vysoký 450 mm, kondenzátor má nejdelší rozměr 800 mm.

Zadání také říká, že hladina akustického výkonu naměřená u okna strojovny nemá překročit 50 dB. Kompresor ZB49KCU má tuto hladinu dle technických údajů na hodnotě 79 dB. U ventilátoru velmi závisí tato veličina na okamžitých otáčkách motoru - Podle charakteristiky ventilátoru se hluchnost pohybuje v rozmezí od 55 do 64 dB. Jsou to však hodnoty pro průtoky vzduchu vyšší než 4500 m³/hod. Reálně se tedy hladina akustického výkonu ventilátoru bude pohybovat mezi 20 až 50 dB.

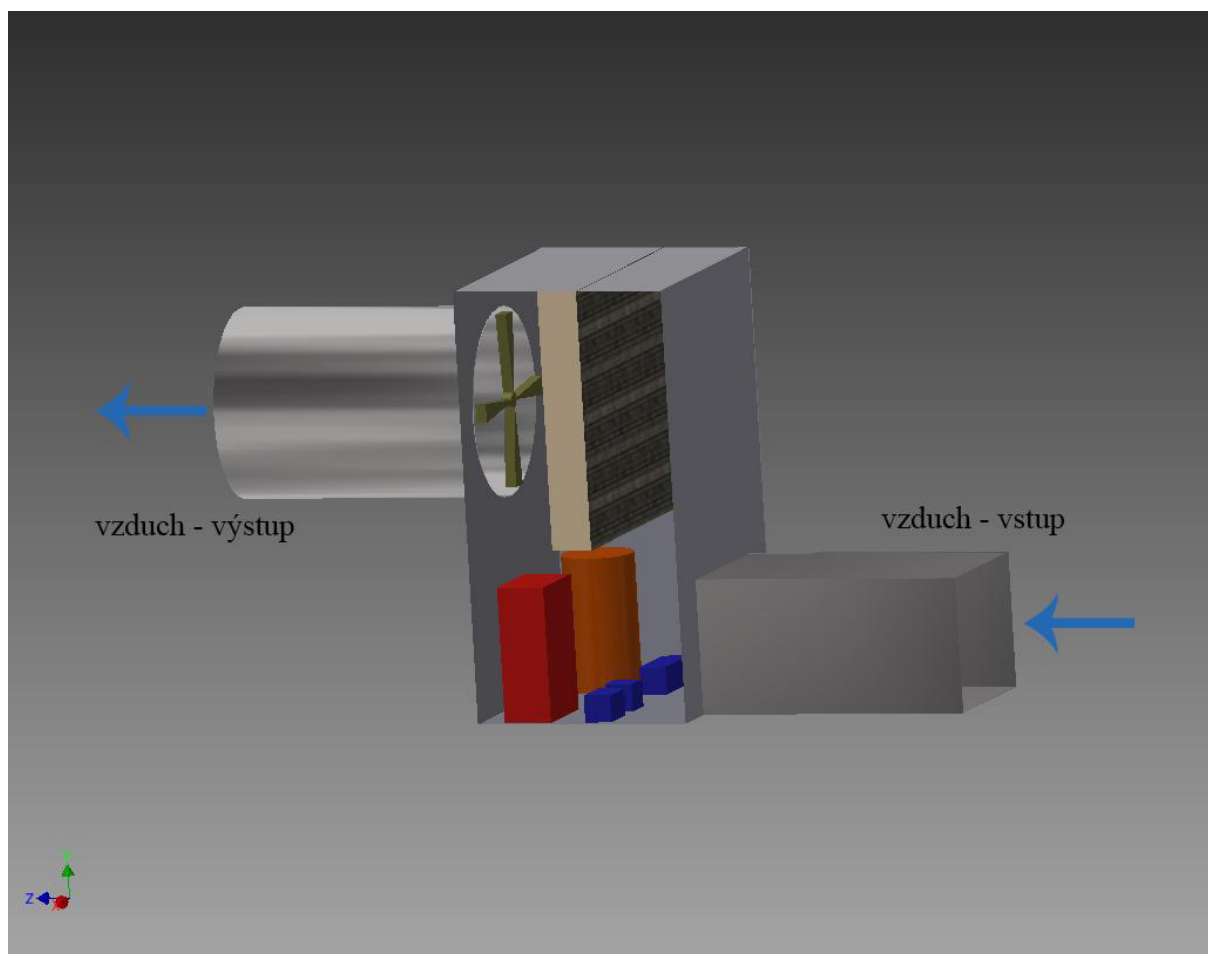
Kompaktní skříň je tedy potřeba dobře odhlučnit, k tomu je vhodné použít akustickou izolaci a akustický molitan, tak aby hodnota hluku nepřesahovala zadaných 50 dB.

Norma ČSN EN 378 v příloze C.3.4 říká, že chladivový okruh musí být opatřen samostatnou skříní, která není součástí vnitřního prostoru strojovny. To znamená, že vzduch z venkovního prostředí musí být přiváděn do jednotky přívodním vzduchotechnickým potrubím a z ní ochlazený vzduch je odváděn potrubím pomocí ventilátoru opět ven, mimo místnost. Je to dáno z důvodu zabránění úniku chladiva ve větší míře do strojovny.

Způsob navrženého provedení připojení potrubí a rozložení komponent ve skříni je schematicky znázorněn na Obr. 5.21. Ve spodní části skříně jsou vedle sebe kompresor a kondenzátor. Přiváděný vzduch na výparník tyto komponenty obtéká (kondenzátor by tedy měl být tepelně izolován). Veškeré vibrující části (zejména kompresor a ventilátor) jsou uloženy v silentblocích pro eliminaci vibrací a zvýšení životnosti TČ.

Rozměry skříně ve finále jsou:

- výška 1800 mm
- délka 1000 mm
- šířka 750 mm



Obr. 5.21 Návrh kompaktnosti TČ a rozložení komponent

6. ZÁVĚR

V první části diplomové práce je pojednáno obecně o technologii tepelných čerpadel. Rozebrána je historie a princip TČ. Dále pak jsou v této rešeršní části popsány jednotlivé druhy tepelných čerpadel pracujících na bázi využití varu a kondenzace pracovní látky. Jsou jimi kompresorové oběhy, absorpční oběhy a hybridní oběhy. Poté jsou rozebrány zdroje nízkopotenciálního tepla (vzduch, voda a země) jejich možné aplikace pro TČ.

Druhá část práce je také rešeršního charakteru. Popisuje problematiku kompresorových tepelných čerpadel vzduch - voda. Je zde detailní popis chladivového okruhu v rámci režimu vytápění a odmrazování. Tématu chladiv byla v této diplomové práci věnována větší pozornost, a to zejména chladivům přírodním. Nechybí zde ani porovnání teplot, tlaků, výkonů a COP většiny běžně používaných chladiv. V další části kapitoly věnované KTČ byly představeny a popsány základní komponenty chladivového okruhu.

Třetí část, jak je v úvodu napsáno, popisuje reálné aplikace zapojení TČ pro bytové domy. Po zapojení TČ byly v jednom z příkladů náklady za teplo na 30% původních nákladů. Z této části lze tedy vyvodit, že tepelná čerpadla pro bytové domy si své místo na trhu najdou.

Nejdůležitější částí práce je návrh TČ pro bytové domy. Zadání, které je popsáno v úvodu práce je úspěšně splněno. Podařilo se navrhnout kompaktní TČ s topným výkonem přesahujícím 15 kW při A2/W55, v chladivovém okruhu cirkuluje moderní přírodní chladivo R290 (propan). Velikost náplně chladiva by měla být v souladu s normou ČSN EN 378 a nepřekračuje hraniční hodnotu 4,9 kg (jedná se však o odhad, skutečnou velikost náplně ukáže až reálný provoz). Návrh zahrnuje výběr všech komponent chladicího oběhu. Tyto komponenty jsou navrženy od společností COPELAND (kompresor), LLOYD COILS (výparník), EBM-PAPST (ventilátor), SWEP (kondenzátor), ALCO CONTROLS pod společností EMERSON CLIMATE TECHNOLOGIES (expanzní ventil, presostaty, termostat, průhledítko), DANFOSS (čtyřcestný ventil, filtrdehydrátor, detektor chladiva) a FRIGOMECH SpA (odlučovač kapaliny).

Součástí práce je celá řada výpočtů (za pomoci softwarů popsaných v práci), které nakonec vedly k tomu nejvíce dožadovanému - topnému faktoru. COP se pohybuje v rozmezí 1,6 až 5,3, v závislosti na daných podmínkách. Při podmínkách A7/W55 je hodnota topného faktoru 3,03 - což je příznivé. Tato kapitola také popisuje a schematicky znázorňuje princip kaskádovitosti (zapojení více stejných jednotek za účelem většího topného výkonu) a popisuje možnosti plynulé regulace pro režim vytápění a odmrazování. V poslední části je schematicky navržen koncept kompaktní jednotky. Otázku hluku bude moci zodpovědět až reálné měření.

TČ pro bytové domy jsou rozvíjející se obor a firma AISECO spol. s r.o. nechce tuto příležitost nechat ležet ladem. Doufáme, že vedení firmy tento koncept pomůže začít vyvíjet pro ně zcela novou výrobu tepelných čerpadel a navržené jednotky jednoho dne spatří světlo světa v reálném provedení, které lidské společnosti pomůže jak po stránce ekonomické, tak po stránce environmentální.

7. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1]. RATSAM, P. *Tepelné čerpadlo vzduch - voda*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.
- [2]. *Historie TČ* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://www.sinclairheatpumps.eu/cs/informace/historie-tepelnych-cerpadel/>
- [3]. *Počet instalací TČ v ČR* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vytapeni/historie-avyvoj-tepelnych-cerpadel-vcr-aeu>
- [4]. KREJSA, P. *Plynová tepelná čerpadla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 42 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
- [5]. SRDEČNÝ, Karel. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA, 2005.
- [6]. *Hybridní tepelná čerpadla* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: http://stc.fs.cvut.cz/history/2007/sbornik/Papers/DP/Jancik_Ludek_12116.pdf
- [7]. *Čerpajte energii z přírody* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://mojdom.zoznam.sk/cl/10055/1324212/Cerpajte-energiu-z-prirody>
- [8]. *PZP heating* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://www.pzpheating.cz/>
- [9]. *Návrh chladiwa Václav Růžek* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: https://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0ahUK Ewjsj8SwoIvUAhXFbRQKHaaBA5oQFgg1MAI&url=http%3A%2F%2Fwww.chlazen.cz%2Fdata%2Fblob-rename%2Fevent-application_pdf-20140129043111-4398-v-ruzek-volba-chladiwa-v-prumyslovem-chlazen.pdf%2F&usq=AFQjCNG3SPmfpdoXuhHTMQ2dLvG7WFGfcA&sig2=YL NkGvBt9iL_v1_4W6jVWA
- [10]. *TZB Info* [online]. [cit. 2017-05-25]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/11903-tepelna-cerpadla-na-bytovych-domech-v-praxi>
- [11]. *Tepelné čerpadlo pro bytové domy - Aiseco* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.aiseco.cz/produkty/tepelna-cerpadla/bytove-domy>
- [12]. *Časová omezení uvádění zařízení na trh EU pro jednotlivé kategorie výrobků* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazen/13646-legislativni-situace-v-oblasti-chladiv-a-vyhledy-do-budoucnosti>
- [13]. *Porovnání p-h diagramů různých druhů chladiv* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Enio_Bandarra_Filho/publication/304573404/figure/fig2/AS:390260375736322@1470056732268/Fig-2-Pressure-versus-enthalpy-diagram-for-all-refrigerants-tested.jpg
- [14]. *Propane product guide* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.emersonclimate.com/europe/ProductDocuments/AlcoLiterature/EN_TGE185-Propane-Product-Guide.pdf

- [15]. *A6D630-AN01-01* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z:
<http://www.ebmpapst.com/en/products/axial-fans/axialfansdetail.php?pID=112108>
- [16]. *Reverzni ventily* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z:
<http://chlazeni.kovosluzbaots.cz/chlazeni/pdf402/regulacni-technika-danfoss/reverzni-ventily.pdf>
- [17]. *Filtrdehydrátor biflow řez* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z:
<http://www.dryall.net/images/dchbf-image1.jpg>
- [18]. *Jan Havlíček* [online]. [cit. 2017-05-24]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=65929
- [19]. Frigomec: <http://www.frigomec.com/index.php/en/en-vertical-suction-accumulators-made-in-2-pieces-up-to-max-45-bar> [online]. [cit. 2017-05-25]

8. SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	
Zkratka	Význam
A	Vzduch (Air)
CHP	Compressor heat pump
COP	Topný faktor (Coefficient of performance)
ČR	Česká republika
ČV	Čtyřcestný ventil
EEV	Elektronický expanzní ventil
EVI	Vstřík par (Enhanced vapour injection)
EV	Expanzní ventil
FD	Filtrdehydrátor
GWP	Global warming potential
HP	Vysokotlaký presostat, Heat pump
K	Kompresor
KTČ	Kompresorové tepelné čerpadlo
LP	Nízkotlaký presostat
OK	Odlučovač kapaliny
ODP	Ozone depletion potential
P	Průhledítko
SCH	Sběrač chladiva
T	Termostat
TČ	Tepelné čerpadlo
TEV	Termostatický expanzní ventil
TUV	Teplá užitková voda
V	Ventilátor
W	Voda (Water)
ZZT	Zpětné získávání tepla
ZV	Zpětný ventil